

Evaluación del riesgo ambiental del barrio El Pueblito por la influencia del Arroyo León

Jair Eliécer Aviléz Martínez



Corporación Universidad de la Costa - CUC

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Atlántico

2020

Evaluación del riesgo ambiental del barrio El Pueblito por la influencia del Arroyo León

Jair Eliécer Aviléz Martínez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

Ingeniero Ambiental

Tutor:

Andrea Yanes Guerra

Magister en Manejo Integrado Costero

Cotutor:

José Joaquín Espinosa Otero

Magister en Prevención de Riesgos Laborales

Corporación Universidad de la Costa - CUC

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Atlántico

2020

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Agradecimientos

Antes que todo, me gustaría expresar mi gratitud a Dios por permitirme llegar hasta donde lo he logrado, por atender todas mis suplicas pidiendo sabiduría para cada prueba que se me presente en mi vida. A mis padres por siempre me apoyar e impulsar el objetivo de llevar a cabo mis estudios, les expreso mi infinita gratitud, los amo. A mis tutores les expreso mi más inmensa gratitud por su completa entrega y disposición que logró ser un impacto significativo para continuar con mi proyecto en los momentos complicados. Y agradecimientos especiales a la Universidad de la Costa por brindar herramientas y capacitaciones que sirvieron de mucha ayuda en los temas de investigación y redacción de este documento.

Jair Eliécer Aviléz Martínez

Resumen

La presente investigación evaluó los riesgos potenciales a los que se encuentra expuesta la comunidad del barrio *El Pueblito*, debido a la cercanía con el Arroyo León. Se desarrolló una evaluación de riesgos de acuerdo con los eventos históricos de inundación que presentó la zona, para esto se determinó la percepción social de los pobladores, las características hidráulicas e hidrológicas con las que se diseñó el canal y las amenazas potenciales junto con los elementos en riesgo, para así clasificar el nivel asociado de este; además de los impactos ambientales consecuentes. La percepción social se desarrolló mediante encuestas, donde se reunió información que permitió estimar la percepción de cada individuo con respecto al tema de desbordamiento del canal. Los elementos de la sección hidráulica del canal fueron determinados a partir de valores experimentales y teóricos, donde el resultado de estos permitió obtener el caudal aproximado de diseño. El estudio hidrológico se basó en información secundaria sobre las cuencas del departamento Atlántico, para el estudio se delimitaron aquellos sistemas de drenaje donde se tuvo interacción con el espacio georreferenciado y así comprender la tendencia de drenaje para la subcuenca en estudio, la cual correspondió a la del Arroyo León. La evaluación de riesgos contempló una serie de amenazas de las cuales se tiene registro en el departamento del Atlántico, a partir de una check list se permitió identificar las presentes en la zona. El listado de elementos en riesgo se determinó con base al grado de afectación que estos sufren cuando se presentan los eventos amenazantes, para el cual se realizó un énfasis sobre aquellos que tienen relación directa e indirecta con el canal. La investigación desarrollada permitió determinar de

manera simultánea las afectaciones ambientales provocadas por los riesgos evidenciados, donde se destacaron las causas antrópicas.

Palabras clave: evaluación de riesgo, evento amenazante, percepción social, estudio hidrológico, riesgo ambiental.

Abstract

The present investigation evaluated the potential risks that the community of the El Pueblito neighborhood has., due to its proximity to Arroyo León. A risk assessment was developed according to the historical flood events that the area presented, for this the social perception of the inhabitants was determined, the hydraulic and hydrological characteristics with which the canal was designed and the potential threats together with the elements at risk, to classify its associated level; in addition to the consequent environmental impacts. Social perception was known through surveys, where information was gathered that estimated the perception of some inhabitants regarding the issue of channel overflow. The elements of the hydraulic section of the canal were determined from experimental and theoretical values, where the result of these obtained the approximate design flow. The hydrological study was based on secondary information on the basins located in the Atlántico department, for the study those drainage systems were delimited where there was interaction with the georeferenced space and thus understand the drainage trend for the sub-basin under study, which corresponded to the from Arroyo León. From the risk assessment was considered a series of threats of which there is a record in the department of Atlántico, based on a checklist, those present in the area will be identified. The list of elements at risk was determined based on the degree of impact that these will suffer when threatening events occurs, for which an emphasis was placed on those that have a direct and indirect relationship with the channel. The research carried out will probably

determine simultaneously the environmental effects caused by the risks shown, where anthropic causes were highlighted.

Keywords: risk assessment, threatening event, social perception, hydrological study, environmental risk.

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	13
Introducción.....	17
1. Descripción del problema	19
2. Justificación	26
3. Objetivos.....	27
4.1. General:	27
4.2. Específicos:.....	27
5. Marco referencial	28
5.1. Antecedentes.....	28
5.2. Marco legal	32
5.3. Marco conceptual.....	37
5.3.1. Canal:	37
5.3.1.1. Elementos de la sección:	37
5.3.2. Secciones geométricas:	38
5.3.3. Flujo uniforme:	39
5.3.4. Ecuación de Chézy:.....	40

5.3.5.	Ecuación de Chézy según Manning:	41
5.3.6.	Ecuación de Manning:	41
5.3.7.	Numero de froude:	43
5.3.8.	Características hidrológicas	44
5.3.9.	Amenaza:	48
5.3.10.	Vulnerabilidad:	48
5.3.11.	Riesgo de desastres:	48
5.3.12.	Prevención de riesgo:	49
5.3.13.	Análisis y evaluación del riesgo:	49
5.3.14.	Percepción del riesgo:	50
6.	Diseño metodológico	51
6.1.	Área de estudio	51
6.2.	Tipo de investigación	52
6.3.	Metodología	53
6.3.1.	Características del canal (investigación bibliográfica)	53
6.3.2.	Diseño de encuestas y reconocimiento del área de estudio	56
6.3.2.1.	Diseño de encuestas	56
6.3.2.2.	Reconocimiento del área de estudio	57
6.3.3.	Evaluación del riesgo	58

6.3.3.1.	Análisis de amenazas	59
6.3.3.2.	Análisis de vulnerabilidad	62
6.3.3.3.	Análisis de riesgo.....	66
7.	Resultados y análisis.....	68
7.1.	Características hidráulicas e hidrológicas	68
7.2.	Encuestas y reconocimiento.	73
7.2.1.	Percepción general.....	75
7.2.2.	Percepción subjetiva	77
7.2.3.	Percepción de causa-respuesta.....	79
7.2.4.	Observaciones y opiniones individuales	81
7.2.4.1.	Falta de mantenimiento en la superficie del canal.....	82
7.2.4.2.	Negligencia empresarial.....	82
7.2.4.3.	Cultura ciudadana	83
7.3.	Evaluación del riesgo	83
7.3.1.	Evaluación de amenazas.....	86
7.3.2.	Evaluación de vulnerabilidad	90
7.3.2.1.	Inundación.....	91
7.3.2.2.	Vendavales	93
7.3.2.3.	Pluviosidad	94

7.3.2.4.	Sequías	95
7.3.2.5.	Erosión del suelo.....	96
7.3.2.6.	Tecnológicas (cierre de compuertas)	97
7.3.2.7.	Enfermedades	99
7.3.2.8.	Generación de residuos solidos	99
7.3.2.9.	Colmatación.....	100
7.3.2.10.	Situaciones de orden publico.....	101
7.3.3.	Resultados evaluación de riesgo	101
8.	Conclusiones	104
9.	Recomendaciones.....	107
10.	Referencias.....	109
Anexos	118

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Amenazas según relevancia en las subregiones del Departamento Atlántico.	21
Tabla 2. Normativa nacional sobre gestión del riesgo, requisitos técnicos hidráulicos, uso del agua y control de contaminación.	32
Tabla 3. Normativa internacional sobre gestión del riesgo, requisitos técnicos hidráulicos, uso del agua y control de contaminación.	35
Tabla 4. Interpretación de resultados según índice de Gravelius.	45
Tabla 5. Características hidráulicas e hidrológicas para un canal pluvial.....	54
Tabla 6. Métodos de cálculo Tc.	55
Tabla 7. Criterios de evaluación para el análisis de amenazas	59
Tabla 8. Clasificación de las amenazas según su calificación.	62
Tabla 9. Descripción de los factores de vulnerabilidad	63
Tabla 10. Clasificación de la vulnerabilidad según su calificación.	65
Tabla 11. Clasificación según factores de riesgo.....	67
Tabla 12. Resultados de las variables correspondientes a la sección transversal	68
Tabla 13. Cálculos Hidráulicos para Sección trapezoidal	69

Tabla 14. Valores de diseño para el canal del Arroyo León.	70
Tabla 15. Resultados de las características hidrológicas de la subcuenca.	71
Tabla 16. Resultados del Tiempo de Concentración según su método.....	72
Tabla 17. Nivel de formación académica de los encuestados	74
Tabla 18. Check list amenazas – elementos	83
Tabla 19. Matriz de interacción amenaza – elementos	85
Tabla 20. Matriz de amenazas	86
Tabla 21. Matriz de vulnerabilidad	90
Tabla 22. Matriz de riesgos asociados	102
Tabla 23. Coordenadas de georreferenciación para el área de influencia por inundación	120
Tabla 24. Formato de encuestas diseñado para evaluar la percepción social	120

Figuras

<i>Figura 1.</i> Histórico de eventos de riesgo entre 1914-2011..	20
<i>Figura 2.</i> Secciones transversales de los canales.....	39
<i>Figura 3.</i> Sector final del barrio El Pueblito que interactúa con el canal..	52
<i>Figura 4.</i> Sección transversal del canal de estudio.	54
<i>Figura 5.</i> Conceptos fundamentales en la gestión de riesgo.....	58
<i>Figura 6.</i> Variables para realizar análisis de amenazas..	59
<i>Figura 7.</i> Método para estimar el valor de la amenaza.	62

Figura 8. Factores de vulnerabilidad.	63
Figura 9. Método para estimar el valor de la vulnerabilidad.	65
Figura 10. Método para calcular el nivel de riesgo asociado.	66
Figura 11. Resultados percepción general.	76
Figura 12. Resultados percepción subjetiva.	79
Figura 13. Resultados de percepción causa-respuesta.	81
Figura 14. Georreferenciación de elementos en riesgo y puntos de referencia.	118
Figura 15. Canal post-desvordamiento.....	122
Figura 16. Inundación de las viviendas próximas al canal.	123
Figura 17. Inundación de las vías de acceso.....	124
Figura 18. Estado post-desvordamiento.....	125
Figura 19. Viviendas y rutas de acceso inundadas.	126
Figura 20. Canchas y centros de recreación afectadas por la inundación..	127
Figura 21. Ecosistema terrestre involucrado por la inundación.	128
Figura 22. Colmatación presente en el interior del canal.	129
Figura 23. Tramo inconcluso de la obra del canal..	130
Figura 24. Disposición inadecuada de residuos al interior del canal.	131

Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de Chézy.....	40
------------------------------------	----

Ecuación 2. Coeficiente de Chézy según Manning.....	41
Ecuación 3. Velocidad según Manning.....	42
Ecuación 4. Ecuación de continuidad.	42
Ecuación 5. Caudal según Manning.....	42
Ecuación 6. Número de froude.	43
Ecuación 7. Coeficiente de compacidad (índice de Gravelius).	45
Ecuación 8. Ecuación para determinar factor de forma.	45
Ecuación 9. Ecuación para determinar densidad de drenaje.	46
Ecuación 10. Ecuación para calcular Tc según kirpich.....	46
Ecuación 11. Ecuación para calcular Tc según Clark.	47
Ecuación 12. Ecuación para calcular Tc según Giandotti.	47
Ecuación 13. Ecuación para calcular Tc según Témez.	47

Introducción

Las sociedades modernas al largo de su evolución siempre han tenido un factor en común, el cual es brindar acciones de desarrollo para contribuir con los ideales de crecimiento y saneamiento local (Weil et al., 2019). Sin embargo, los impactos generados por las urbanizaciones a lo largo del tiempo pueden afectar las condiciones biofísicas de una cuenca y aportar al aumento de sedimentos si se habla en término de la mecánica de los arroyos (McCluney et al., 2014). Además, se establece que toda actividad que elabore acción generará impactos, pero las obras antropogénicas también corren el riesgo de deterioro. Existen factores ambientales que son los principales causantes de deteriorar el desarrollo humano al no ser capaces de tolerar situaciones de cambio o someterse a cierto grado de estrés que comprometa su estructura o ideal funcionamiento, haciendo que en términos más simples, los resultados sean no deseados (Besaw et al., 2009). La vulnerabilidad en tal contexto es descrita como “la sensibilidad de un sistema al estrés y el grado en que este experimentará daños por la exposición a un agente estresante o perturbación” (B. L. Turner II, Roger E. Kasperson, Pamela A. Matson et al., 2003). Es decir, todo producto de la urbanización o desarrollo humano es sensible a sufrir alteraciones que perjudiquen su estructura, al igual que los demás aspectos involucrados como lo son el ecosistema y el área social que se encuentran expuestos a factores determinantes de amenaza y vulnerabilidad.

El desarrollo en Colombia adoptó el modelo propuesto por sociedades avanzadas de forjar su crecimiento en función de los cuerpos de agua, siendo esta una decisión compleja teniendo en

cuenta que mucho del territorio nacional se encuentra expuesto a inundación por las constantes lluvias anuales. Este es un fenómeno que durante décadas amenazó la estabilidad del desarrollo, trayendo consigo deterioros y pérdidas en la infraestructura de la sociedad. El Atlántico presenta un histórico que encierra el fenómeno de inundación, convirtiéndolo en la principal amenaza registrada durante la última década (Márquez carlos iván, 2010), este evento se manifiesta en todos los municipios que comprenden el departamento, y son evidenciados en comunidades situadas cerca de los sistemas de drenaje pluvial.

Teniendo en cuenta los conceptos y aspectos sobre inundación anteriormente descritos, la presente investigación busca evaluar el nivel de riesgo a la que se encuentra expuesta la comunidad del barrio *El Pueblito*, permitiendo así evidenciar la magnitud sobre la amenaza a la que se ha visto involucrada la población residente por periodos superiores a una década. La investigación reflejara las afectaciones ambientales causadas por las amenazas identificadas, la percepción social generada con la frecuente exposición a inundaciones y los factores de diseño que involucran el desbordamiento del canal.

1. Descripción del problema

Las inundaciones y el inevitable desarrollo de una sociedad son temas relacionados, desde la antigüedad grandes sociedades como la China, India y hasta egipcia presentaron este fenómeno debido a su gran desarrollo que los mantenía a la ribera de los cuerpos de agua. Muchos países de América adoptaron esta idea de desarrollo. Sin embargo, el fenómeno de inundación en algunos de estos es atribuible a los efectos causados por el cambio climático y los factores hidrometeorológicos que se presentan en el país, como es el caso de Colombia (Sedano Cruz et al., 2013).

Cerca del 70% del territorio colombiano registra precipitaciones anuales promedio de 2000 mm; donde el periodo en el que mayor intensidad se reporta es entre los meses de septiembre, octubre y noviembre (IDEAM, 2020). Los eventos de inundación representan un riesgo para las sociedades en vía de desarrollo porque alteran los aspectos sociales, económicos y ambientales de estas, por lo cual hace parte de las amenazas de mayor atención en el país, comprometiendo principalmente a departamentos costeros y poblaciones ribereñas.

El Atlántico presenta una serie de eventos por emergencia que son registrados desde el año 1914, siendo destacados tres principales: inundación, incendio y vendavales (base de datos Desinventar, 2011).

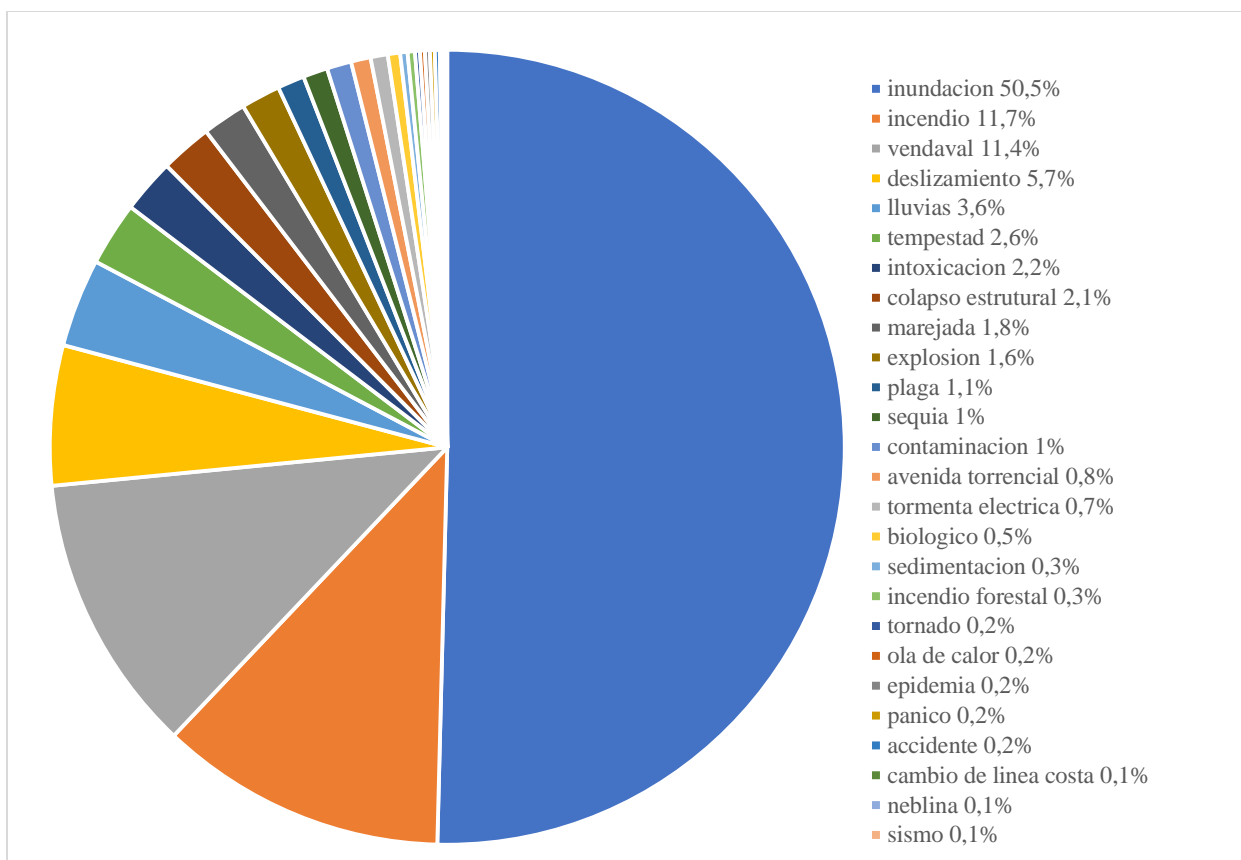


Figura 1. Histórico de eventos de riesgo entre 1914-2011. Adaptado de “pág. 55 PMGR Atlántico”, por (base de datos Desinventar, 2011).

Se han llevado a cabo estudios de seguimiento para determinar el grado de relevancia de las amenazas según la subregión analizada (Ver tabla 1).

Tabla 1.

Amenazas según relevancia en las subregiones del Departamento Atlántico.

Subregión	Municipios	Amenazas de mayor relevancia
Metropolitana	Barranquilla, Puerto Colombia, Soledad, Malambo, Galapa.	Amenazas tecnológicas, inundación súbita.
Costera	Tubará, Juan de Acosta, Piojó, Usiacurí.	Erosión costera, inundación súbita, deslizamiento.
Oriental	Sabanagrande, Santo tomas, Palmar de Varela, Ponedera.	Erosión fluvial, inundación
Centro	Baranoa, Polonuevo, Sabanalarga, Luruaco	Deslizamientos, tecnológicas, inundación.
Sur	Repelón, Manatí, Candelaria, Campo de la Cruz, Santa Lucía, Suan.	Inundación lenta, súbita.

Nota: Adaptado de (Márquez carlos iván, 2010 p.58).

Como se logra destacar, las inundaciones son las amenazas frecuentes y relevantes en Barranquilla debido a que “gran parte de la ciudad no cuenta con sistema de alcantarillado pluvial, lo que hace que las vías se comporten como canales abiertos en temporadas de lluvia, por tal motivo se incrementa el riesgo”(Barranquilla, 2017, Pag.88). Los elementos vulnerables por este tipo de situación en general son la población, el transporte público, edificaciones, la vegetación, la infraestructura de servicios públicos y la movilidad.

Barranquilla ante esta serie de eventos desarrolló medidas para llevar acciones de intervención correctiva en las condiciones existentes de vulnerabilidad y amenaza, para lo cual era indispensable la identificación de los distintos factores involucrados, pero sin un nivel de compromiso institucional que ofrezca garantías la propuesta se hallaba lejos de ser ejecutable. Por lo tanto, para brindar resultados las instituciones adoptaron acuerdos estableciendo sus deberes, trayendo consigo la ejecución de las acciones propuestas (Márquez Carlos Iván, 2010).

El suroccidente de Barranquilla forma parte de un sistema canales que alimenta la subcuenca o microcuenca de los Arroyos Grande y León que desemboca en la Ciénaga de Mallorquín con un área total de 182 Km² y cuya totalidad hace parte de la Cuenca de la misma Ciénaga. (Jose & Barrios, 2019).

Durante la última década se decidieron llevar a cabo obras de aprovechamiento en la subcuenca de los Arroyos Grande y León precursando en realizar actividades de formulación. Estas actividades siempre respaldadas por la CRA como ente coordinador y ejecutor de los POMCAs en el departamento del Atlántico (Quintero et al., 2008).

Las obras realizadas incluyeron labores de canalización en el curso principal del Arroyo león, siendo este de sección transversal para garantizar una mejor distribución de los afluentes que desembocan en la Ciénaga de Mallorquín junto con otro punto de recolección de las aguas que este arroyo transporta conocido como Ciénaga del Rincón o Lago del Cisne. Para las obras de revestimiento se llevaron a cabo numerosos estudios que buscaron a partir de análisis de la subcuenca, características morfológicas e históricos de precipitación; establecer la capacidad

hidráulica para la cual este arroyo sería conveniente transportar agua en época de invierno (Universidad del Magdalena, 2010).

En el Arroyo León “se incluye la construcción de dos estructuras de retención de basuras, una en el Arroyo León a la altura de la EDAR El Pueblito, y otra en el Arroyo La Pradera”(Universidad del Magdalena, 2010 p.66). Esta primera fase ha sido lugar de constantes proyectos relacionados con viviendas y arborización, específicamente en los alrededores del barrio *El Pueblito* (El Heraldó, 2018). Esta clase de obras permitió desarrollar en la comunidad aledaña una percepción de lo que ocurre en su entorno, mostrando su relación con el estado, comportamiento y distintos factores que involucren la estructura del canal(Montero & Batista, 2019); siendo así un método más para reunir información sobre el impacto ocasionado por sucesos de origen socio-ambiental (Martínez, 2016).

El barrio *El Pueblito* hace parte de la zona de expansión correspondiente al suroccidente de Barranquilla el cual fue fundado a mediados de 1977 y fue consolidado en la década de los 90 (Quintero et al., 2008), como parte de una propuesta con el objetivo de promover el sector de la construcción a través del crédito hipotecario (Urrutia & Namen, 2012). Detrás de la comunidad establecida en dicho sector, recorre su cauce natural un arroyo que toma parte de la cuenca occidental de Barranquilla (Universidad del Magdalena, 2010), el cual tiene un histórico en transporte de aguas lluvias. La ciudad en su deseo por impulsar su desarrollo económico ha brindado respaldo para el crecimiento de muchas empresas, lo cual generó una tasa de empleo más alta, provocando directamente el interés por parte de los individuos de otras ciudades, incluso de zonas rurales por establecerse dentro de los suburbios de la ciudad, promoviendo lo

que se conoce como asentamientos ilegales, o más comúnmente como invasiones locales. Con el desarrollo de esta actividad viene consigo la no inclusión dentro de los planes de riesgo, ya que muchos de los hogares constituidos con esas invasiones son potencialmente expuestos a riesgos que incluyan las características del terreno que fueron previstas en el “POT (Plan de ordenamiento territorial del distrito especial, industrial y portuario de barranquilla)”; y que estas personas no tuvieron en cuenta al momento de situarse.

Entre los riesgos que se presentan en el barrio *El Pueblito* se pudo encontrar, la alta tendencia a inundación por causa del desbordamiento constante del arroyo natural que se encuentran ubicado en la zona trasera del barrio, y donde muchas casas se establecieron sin tener en cuenta el riesgo presente.

En aras de resolver la problemática y buscar un bien propio, se diseñó la respectiva canalización del arroyo que circulaba por tal zona de parte de una empresa del sector privado cuya información no quedo registrada. El proyecto manifestó ser una solución definitiva para la problemática descrita. Sin embargo, el revestimiento correspondiente para el canal no alcanzo a cubrir la totalidad del tramo del arroyo que corresponde al barrio *El Pueblito*, esto según lo manifestado por la comunidad residente debido a la falta de recursos, dejando el riesgo aun presente.

Por un tiempo la tasa de inundaciones disminuyó en forma discreta, lo cual se pudo interpretar como un impacto positivo en virtud de la canalización realizada. Pero, la obra no representó ser la solución definitiva para la problemática debido a que, con la aproximación de las épocas de invierno, se abre paso a un proceso lluvias constantes, lo cual da pie a otro tema

fundamental dentro de la cultura ciudadana y es la mala práctica ambiental de parte de los residentes de la zona, cuya acción recae en la disposición de residuos sólidos en el caudal de los arroyos. Esta actividad con el tiempo creó una capa de sedimentos, lo cual ocasionó que la capacidad hidráulica con la que se diseñó el canal disminuyera, provocando el desbordamiento de este con el paso de las futuras lluvias.

Con objetivo de brindar solución a la problemática planteada en el barrio *El Pueblito*, la cual cubre una serie de aspectos sociales, económicos y ambientales; se desea llevar a cabo una evaluación de riesgos ambientales para determinar el alcance de los impactos provocados por la inundación y cultura ciudadana sobre los aspectos mencionados. Teniendo claro este objetivo surge la siguiente interrogante.

¿Qué riesgos ambientales se ven asociados a los aspectos y actividades presentes en la problemática causada por el Arroyo León en el barrio *El Pueblito*?

2. Justificación

El desarrollo de una sociedad se determina a partir de su capacidad de respuesta ante sucesos que repercutan de manera contraproducente el estilo de vida de la población (Daza, 2010). Hoy día los asentamientos urbanos cuentan con medidas de saneamiento y sus respectivos planes de contingencia con los cuales se busca satisfacer las necesidades de sus habitantes, estas acciones abarcan desde redes de distribución de agua potable hasta sistemas de alcantarillado y drenaje (Wang et al., 2019).

La problemática identificada en el barrio *El Pueblito* refleja la falta de compromiso por parte de los entes encargados de velar por los proyectos de infraestructura en la comunidad del suroccidente de la ciudad, trayendo sobre la población vulnerable impactos que afecten los aspectos sociales, ecológicos y económicos.

Con el presente proyecto de grado se busca desarrollar una evaluación de los riesgos presentes en el área de inundación según el nivel de vulnerabilidad determinado en la comunidad afectada, y a partir de los resultados brindar información que sea de utilidad para la población que desea llevar a cabo acciones que contribuyan a la disminución de los impactos. El desarrollo del proyecto sirve como base para futuras obras que busquen impulsar estrategias de mejora a la problemática de inundación en el barrio brindando un estudio de los antecedentes de la zona y sus aspectos involucrados. De igual forma se busca vincular a los entes gubernamentales a

ejercer funciones dirigidas a la solución de la problemática social que se presenta a través de los años. La investigación servirá como datos de referencia en el proceso de reconocimiento.

3. Objetivos

3.1.General:

Evaluar los riesgos ambientales presentes en el barrio *El Pueblito* debido al desbordamiento del canal de aguas lluvias, con el motivo crear datos de referencia que fundamenten futuros proyectos enfocados a la evaluación y percepción del riesgo.

3.2.Específicos:

- Analizar las características hidráulicas e hidrológicas presentes en el tramo del Arroyo León colindante con el barrio *El Pueblito*, a través de información secundaria.
- Reconocer la percepción de la comunidad del barrio *El Pueblito* en función de los riesgos asociados a la problemática identificada.
- Identificar las amenazas y el nivel de vulnerabilidad de la comunidad del barrio *El Pueblito* para valorar el riesgo ambiental.

4. Marco referencial

4.1. Antecedentes

La hidráulica de canales es una rama de la ciencia que a través de estudios de sección y geomorfología busca dar dirección a un curso de agua (Rodríguez Ruiz, 2008). Es común que la hidráulica sea aplicada para dar solución a problemas de aspecto social ya que entre los objetivos de esta rama de la ciencia se encuentra satisfacer las necesidades humanas (Chow, 1994a). Ejemplo de esto es Dinamarca, más específicamente Fionia, donde fue llevado a cabo un estudio que buscaba brindar solución a una problemática de inundación en la llanura ribereña al Río Odense. La zona de influencia abarcó un área total de 125 Ha, donde se destacaba el uso predominante del suelo para la agricultura, convirtiéndose en un prado ideal luego de la restauración. También fue destacado el incremento en los registros de precipitación y escorrentía entre los años 1989-2011 siendo estos 727mm y 316mm respectivamente, permitiendo llevar a cabo un modelo digital de las dimensiones del canal que debían ser modificadas debido a la presencia de sedimentos y material vegetal que aportaban a las causales de inundación (Poulsen et al., 2014).

Las problemáticas de inundación son muy comunes en proyectos de ingeniería cuyo objetivo es optimizar el diseño de un canal como lo fue caso del Río Sabie (Sudáfrica) que por efecto de inundación extrema en el año 2000 se realizó una investigación de la morfología del canal para destacar factores que influenciaban en los fenómenos de inundación siendo destacados factores

como superficie del lecho rocoso, tipo de canal por tramos (piscina rápida, anastomosis de roca madre, etc.) y flujo temporal y espacial de sedimentos cuya acumulación aportaba a erosión y acumulación de este mismo produciendo desbordamiento del canal (Heritage et al., 2004).

En muchos casos la mejor solución para situaciones de inundación en planicies alrededor de ríos y canales es alterar la morfología de este, cuyo fin es comprender las tendencias y condiciones evolutivas del mismo (Kibet et al., 2020). No obstante, se ha evidenciado como los procesos que buscan alterar la morfología de un canal traen consecuencias sobre la dinámica de su flujo, volviendo en algunos casos inestable su estructura debido a que las incisiones que buscan dar mayor profundidad aumentan la capacidad de flujo que es transportado, provocando entre las consecuencias más comunes el arrastre de sedimentos y la degradación del lecho (Zawiejska & Radecki-pawlik, 2016).

La morfología de un canal radica principalmente en la determinación de la sección transversal, volviéndose la característica que condiciona los demás componente presentes en el mismo (Chow, 1994a). Alterar la morfología de un canal ya establecido representa un cambio radical en su comportamiento, la geometría particular de los canales es impartida según las necesidades a las que se ajuste y la opción de realizar un cambio en la sección transversal de un canal es una decisión que debe ser estrictamente respaldada en garantía de optimizar su comportamiento y disminuir el número de impacto posibles (Abrari et al., 2019).

Por otro lado, se ha logrado demostrar que las comunidades que son directamente involucradas por consecuencia de factores propios a su problemática desarrollan la capacidad de brindar un testimonio con base en la percepción generada por los hechos (Bolaños-Valencia et

al., 2019). “Varios autores han indicado la necesidad de considerar la percepción social del riesgo (SPR) como un determinante importante de la vulnerabilidad, ya que puede influir en las decisiones que los individuos toman para enfrentar el riesgo” (Adger, 2006). Las encuestas de percepción no solo pueden dirigirse para analizar el nivel de vulnerabilidad de una comunidad, también son utilidad para establecer la relación entre riesgo y la contaminación (Crona et al., 2009). El análisis de respuestas en encuestas de percepción social se encuentra marcada por un aspecto en común para todos los casos el cual busca abarcar la heterogeneidad de opiniones, siendo cada respuesta única al igual que el individuo que proporciona la información (Chen & Hua, 2017).

En Latinoamérica, a partir de estudios pertinentes se lograron identificar dos peligros como los más propensos a los que están expuestos sus países, siendo ubicados en primer lugar inundaciones y luego huracanes (Nicole Williams, 2000). Colombia reconoce su vulnerabilidad ante sucesos de inundación al igual que países como Panamá, Honduras y Costa Rica (ACS-AEC, 2017); y cuenta con antecedentes registrados de sucesos de tal índole (Sedano Cruz et al., 2013). “El volumen de agua disponible anualmente en Colombia es de 2.100 km³ y representa el 4,5% del agua mundial, situando al país entre los primeros 10 productores del líquido” (IDEAM, 2004) dando a entender que la superficie inundable logra alcanzar hasta un 9,2% del territorio (Sedano Cruz et al., 2013). En virtud de buscar solución a los problemas de inundación surgen propuestas como optimizar el diseño de los arroyos naturales, ya que las zonas de amortiguamiento representan una transición entre los medios terrestre y acuático, conformando una única unidad ambiental con el río, y con la optimización de esos arroyos se logra reducir dicha área de influencia (Bonvecchi & Zuleta, 2014). Es común encontrar en obras de tal tipología zonas de

amortiguación con el objetivo de prevenir inundaciones siendo esa una de las amenazas más comunes en municipios costeros (Rangel-Buitrago et al., 2020).

En casos donde una población es la principal afectada por estas zonas de amortiguamiento, la identificación de riesgos es un tema sufragáneo, condicionando así el tipo de metodología empleada, esto buscando garantizar los resultados más exactos y completos para una investigación (Barsanti et al., 2011). “La vulnerabilidad puede variar significativamente dentro de la misma comunidad y con el tiempo”(Rangel-Buitrago et al., 2020) según el nivel de exposición un suceso puede representar una mayor amenaza si esta no recibe una acción que busque allanar las consecuencias ocurridas puntualmente.

En cuanto a riesgos por inundación, existen dos partes que los componen, estos se dividen en la probabilidad de que ocurra un evento y sus consecuencias. La primera es dada por la magnitud, velocidad de flujo y permanencia de la inundación. La segunda parte refleja a través de la exposición, susceptibilidad y valor, la vulnerabilidad del sistema socioeconómico involucrado en los sucesos de inundación (Rezende et al., 2020).

Se han documentado casos donde los sucesos de inundación amenazaban los bienes materiales de las comunidades obligando estos a llevar a cabo medidas de mitigación y transferencia de riesgos como el caso del Río Tapi en Surat (India), cuyas medidas involucraron el diseño de terraplenes en las orillas del río y desvío del agua producto de la inundación hacia un estanque de detención. Todo con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de las personas y las propiedades propensas a inundación (Waghwal & Agnihotri, 2019).

4.2. Marco legal

En la presente sección se destaca las normativas inmersas en trabajo de investigación según los aspectos involucrados (ver tabla 2 y 3).

Tabla 2.

Normativa nacional sobre gestión del riesgo, requisitos técnicos hidráulicos, uso del agua y control de contaminación.

Norma	Síntesis y/o Aplicabilidad
^a Resolución 0330 de 2017	“Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico”
^b Constitución Política de 1991	<p>Artículo 2. Son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad, promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución; facilitar la participación de todos en las decisiones que los afectan y en la vida económica, política, administrativa y cultural de la Nación; defender la independencia nacional, mantener la integridad territorial y asegurar la convivencia pacífica y la vigencia de un orden justo.</p> <p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.</p> <p>Artículo 80. Establece que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su</p>

desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Artículo 339. Habrá un Plan Nacional de Desarrollo conformado por una parte general y un plan de inversiones de las entidades públicas del orden nacional.

^c Ley No. 1259 de 2008

“Por medio del cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones”.

Artículo 6. Por el cual se enumeran las infracciones contra las normas ambientales de aseo.

^d Decreto No. 1640 de 2012

“Por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación, y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones”.

Artículo 19. Se establecen las directrices para el ordenamiento de las cuencas hidrográficas.

Artículo 1. Por el cual se establecen las normas relacionadas con el uso de aguas no marítimas.

^e Decreto No. 1541 de 1978

Artículo 123. Por el cual se establece las obligaciones de la autoridad competente en caso de emergencia ambiental relacionada con el agua, causas o demás catástrofes naturales incluidas.

Artículo 183. Tiene por objeto promover, fomentar, encauzar y hacer obligatorio el estudio, construcción y Funcionamiento de obras hidráulicas para cualquiera los usos del recurso hídrico y para su y conservación.

Artículo 191. Por cual se establecen las obligaciones de proyectos de obras públicas y privadas para utilizar aguas o sus cauces o lechos.

Artículo 234. Establece los gastos en mantenimiento de obras hidráulicas.

“Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentado del Sector Ambiente”.

^f Decreto No. 1076 de 2015

Artículo 2.2.8.7.1.10. Articulación con el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (Decreto No. 1277 de 1994, art.10 modificado por la Ley 1523 de 2012).

^g Ley 1523 de 2012

“Por el cual se definen los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres en el marco de la planificación del desarrollo nacional”.

Nota: Adaptado de ^a “Resolución 0330 de 2017”, por Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; ^b “Constitución política de Colombia 1991”, por Corte Constitucional, 2014; ^c “Ley No. 1259 de 2008”, por Congreso de Colombia; ^d “Decreto No. 1640 de 2012”, por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ^e “Decreto No. 1541 de 1978”, Ministério de Agricultura; ^f “Decreto No. 1076 de 2015”, por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ^g “Ley 1523 de 2012”, por Congreso de Colombia.

Tabla 3.

Normativa internacional sobre gestión del riesgo, requisitos técnicos hidráulicos, uso del agua y control de contaminación.

Norma	Síntesis y/o Aplicabilidad
^a Manual de Agua Potable y Alcantarillado (México)	“Por el cual se establecen los requisitos para el diseño de proyectos que involucren el manejo de agua potable, alcantarillado y saneamiento”.
^b Constitución Política de 1917 (México)	Artículo 4. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley. (Párrafo adicionado DOF 28-06-1999. Reformado DOF 08- 02-2012).
^c Ley No. 755 de 2015 (Bolivia)	<p>“Tiene por objeto establecer la política general y el régimen jurídico de la Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia, priorizando la prevención para la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, así como el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado”.</p> <p>Artículo 35. La Autoridad del Agua podrá otorgar permisos exclusivos para estudios sobre el agua y las cuencas</p>

cumpliendo lo dispuesto por el artículo 33°, del presente título aun cuando sean privadas o estén concedidas.

^d Ley No. 12257
(Argentina)

“Se establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires”.

Artículo 19. Se establecen las directrices para el ordenamiento de las cuencas hidrográficas.

Artículo 1. La presente Ley es de orden público e interés social y tiene por objeto establecer las bases de coordinación entre los distintos órdenes de gobierno en materia de protección civil.

^e Ley general de
protección civil (México)

Artículo 2. Para los efectos de esta Ley se entiende por:

Fenómeno Hidrometeorológico: Agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados.

“Sistema Nacional de Emergencias”.

^f Ley 18621 (Uruguay)

Artículo 1. El funcionamiento del Sistema Nacional de Emergencias se concreta en el conjunto de acciones de los órganos estatales competentes dirigidas a la prevención de riesgos vinculados a desastres de origen natural o humano, previsibles o imprevisibles, periódicos o esporádicos; a la mitigación y atención de los fenómenos que acaezcan; y a las inmediatas tareas de rehabilitación y recuperación que resulten necesarias.

^g ISO 22320 gestión de
emergencias (Chile)

“Protección y Seguridad de los ciudadanos. Gestión de emergencias. Requisitos para la respuesta ante incidentes”.

Nota: Adaptado de ^a “Manual de Agua Potable y Alcantarillado”, por CONAGUA, 2016; ^b “Constitución Política de 1917”, por DOF, 2012; ^c “Ley No. 755 de 2015”, por Asamblea Legislativa Plurinacional, 2015; ^d “Ley No. 12257”, por Senado y Cámara de diputados; ^e “Ley general de protección civil”, por Secretaría General, 2018; ^f “Ley 18621”, por El Senado y la Cámara de Representantes, 2009; ^g “ISO 22320 gestión de emergencias”; por International Organization for Standardization.

4.3. Marco conceptual

4.3.1. Canal:

Un canal abierto es un tubo por donde cursa un líquido expuesto a presión atmosférica, es decir, con su superficie hacia el cielo. En consecuencia, los ríos, arroyos, acueductos y todos los conductos descubiertos se clasifican como canales abiertos, sin embargo, también se clasifican como tales los conductos cerrados como desagües, túneles, drenajes y alcantarillas subterráneas que trabajan parcialmente llenos. (Estrada, 2010)

4.3.1.1. Elementos de la sección:

Los canales abiertos vienen determinados según la sección geométrica que estos dispongan, a su vez las fórmulas establecidas para determinar sus propiedades varían. Entre las propiedades hidráulicas presentes en todas las secciones se encuentran: (French, 1988)

Tirante hidráulico Y: Es la distancia vertical existente entre el punto más bajo de la sección y el espejo de agua.

Ancho superficial T: Es el ancho de la sección en la superficie libre de agua.

Área hidráulica A: Representa el área de la sección transversal del flujo, tomada normal a la dirección del flujo.

Perímetro mojado P: Es la longitud de la línea que es la interfase entre el fluido y el contorno del canal.

Radio hidráulico R: Es la relación del área hidráulica y el perímetro mojado.

Profundidad hidráulica D: Es la relación entre el área hidráulica y el ancho superficial.

Factor de sección Z: Es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

4.3.2. Secciones geométricas:

En esta sección se ilustran las fórmulas de acuerdo la sección transversal con la que cuente el canal (ver figura 2).








Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.48}$
 Trapezio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.48}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)d^3$	$\frac{1}{2}\theta d$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)d$	$\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d}{2\sqrt{y(d - y)}}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{1}{2}\theta}\right)d$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \sin \theta)^{1.48}}{(\sin \frac{1}{2}\theta)^{4.48}}d^{2.48}$
 Parábola	$\frac{3}{8}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2Ty^2}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{3}{8}y$	$\frac{3}{8}\sqrt{6}Ty^{1.48}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4s} - \frac{r^2}{s}(1 - s \cot^{-1} s)$	$\frac{T}{s}\sqrt{1 + s^2} - \frac{2r}{s}(1 - s \cot^{-1} s)$	$\frac{A}{P}$	$2[s(y - r) + r\sqrt{1 + s^2}]$	$\frac{A}{P}$	$A\sqrt{\frac{A}{P}}$

Figura 2. Secciones transversales de los canales. Adaptado de "capítulo 2- hidráulica de canales abiertos", por (Chow, 1994a).

4.3.3. Flujo uniforme:

Rara vez ocurre en los canales naturales debido a que son prismáticos. Aun en los prismáticos es poco frecuente por la existencia de controles, como vertedores, compuertas, etc. El flujo uniforme es una condición básica que debe considerarse en todos los problemas de diseño (Chanson, 2002).

En un canal de cierta pendiente y rugosidad, que debe conducir un caudal conocido, el estado de flujo uniforme es el criterio que rige al área de la sección transversal mínima requerida. Aun cuando exista otra situación que determine sus dimensiones, estas difícilmente serán menores que las de la sección mencionada, ya que la tendencia natural del flujo será tratar de alcanzar dicho estado. Por esta razón es conveniente exponer las condiciones hidráulicas que rigen el flujo

uniforme, antes de las de cualquier otro que pudiera representar las condiciones reales del movimiento del agua en el canal por diseñar (French, 1988).

El flujo uniforme puede ser laminar o turbulento, pero las dimensiones relativamente grandes de la mayoría de los canales, combinadas con la pequeña viscosidad del agua, obligan a que el flujo laminar sea poco común en la práctica (Rodríguez Ruiz, 2008).

4.3.4. Ecuación de Chézy:

Es conocida como la primera fórmula de fricción desarrollada, la cual tuvo lugar en 1769 por el ingeniero francés *Antonie de Chézy*. Formula que permite obtener la velocidad media en la sección de un canal con flujo uniforme.

$$V = C\sqrt{R * S}$$

Ecuación 1. Ecuación de Chézy. Adaptado de "capítulo 5- hidráulica de canales abiertos", por (Chow, 1994a).

Donde:

V= velocidad media del flujo uniforme de la sección

C= coeficiente de Chézy

R= radio hidráulico

S= pendiente del canal

4.3.5. Ecuación de Chézy según Manning:

Dicha ecuación, de carácter netamente empírico, es la más conocida en todo el mundo y valúa el coeficiente de Chézy en la forma.

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

Ecuación 2. Coeficiente de Chézy según Manning. Adaptado de "capítulo 5- hidráulica de canales abiertos", por (Chow, 1994a).

Donde:

C= Coeficiente de Chézy

R= Radio hidráulico

n= Coeficiente de Manning

4.3.6. Ecuación de Manning:

Es propiamente la ecuación de fricción según Manning, la más conocida y utilizada por la mayoría de los países occidentales. Sin embargo, se restringe a flujo turbulento en canales rugosos cuyo fondo no cambia sustancialmente a ondulaciones pronunciadas cuando es móvil.

$$V = \frac{1,49}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Ecuación 3. Velocidad según Manning. Adaptado de “capítulo 5- hidráulica de canales abiertos” por (Chow, 1994a)

Donde:

n= Coeficiente de Manning

R= Radio hidráulico

S= Pendiente del canal

Teniendo en cuenta la ecuación de continuidad, se puede realizar la relación de la velocidad para obtener el caudal a partir de la ecuación de Manning.

$$Q = V * A$$

Ecuación 4. Ecuación de continuidad. Adaptado de “hidráulica general” por (Estrada, 2010).

$$Q = \frac{A * 1,49}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Ecuación 5. Caudal según Manning. Adaptado de “capítulo 5- hidráulica de canales abiertos” por (Chow, 1994a)

Donde:

A= Área hidráulica

n= Coeficiente de Manning

R= Radio hidráulico

S= Pendiente del canal

4.3.7. Numero de froude:

Es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. Debe su nombre al ingeniero hidrodinámico y arquitecto naval inglés William Froude(1810 - 1879).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}}$$

Ecuación 6. Número de froude. Adaptado de “capítulo 5- hidráulica de canales abiertos” por (Chow, 1994a).

Donde V es la Velocidad del flujo, g la Fuerza gravitatoria, y D la Profundidad hidráulica. Estos números permiten clasificar el flujo de agua que circula por una sección. Permitiendo identificar si es un flujo subcrítico, crítico o súper crítico.

$$Fr > 1 = \textit{supercritico}$$

$$Fr = 1 = \textit{critico}$$

$$Fr < 1 = \textit{subcritico}$$

4.3.8. Características hidrológicas

Se le atribuye este término a todos aquellos componentes que forman la estructura de una cuenca hidrográfica, las cuales son de absoluta importancia en procesos para determinar caudales, tiempos de concentración y parámetros de escurrimiento. Las cuencas se clasifican en tres tipos, los cuales corresponden a: Exorreicas o abiertas “aquellas que drenan sus aguas al mar o al océano.” Endorreicas o cerradas “aquellas que desembocan en lagos, lagunas o salares.” Y Arreicas “aquellas cuyas aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje” (Ordóñez, 2011). Entre las características en mención se definen las siguientes.

Parteaguas: es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas (Aparicio, 1992).

Área de la cuenca (A): se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas (Aparicio, 1992).

Forma de la cuenca: indica el comportamiento de la creciente de inundación de la cuenca, es decir, si todo el volumen de agua llega al punto de salida al mismo tiempo. Este cuenta con dos métodos *índice de Gravelius* o *factor de forma* (Monsalve Sáenz, 1999).

- *Índice de Gravelius (K_c):* compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio.

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$$

Ecuación 7. Coeficiente de compacidad (índice de Gravelius).

Donde P es perímetro de la cuenca, P_c es el perímetro de la circunferencia y R el radio de la circunferencia. Los resultados obtenidos por este método se pueden interpretar a partir de la descripción realizada (ver tabla 4).

Tabla 4.

Interpretación de resultados según índice de Gravelius.

valores de K_c	Descripción	Forma
1,00 - 1,25	Grado de inundación crítica	redonda - ovaloredonda
1,25 - 1,50	Alto grado de inundación	ovaloredonda - ovalooblonga
1,50 - 1,75	Grado moderado de inundación	ovalooblonga - rectangularoblonga
$K_c > 1,75$	Grado de inundación bajo	rectangular

Nota: Tabla de interpretación adoptada de (Monsalve Sáenz, 1999)

- *Factor de forma:* se entiende como la relación existente entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de la cuenca, este indica que una cuenca es ancha y de flujo creciente rápido si su valor es mayor a 1, y si el valor es menor a 1 indica que la cuenca es larga, siendo la velocidad del flujo lenta.

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Ecuación 8. Ecuación para determinar factor de forma.

Donde A es el área de la cuenca, y L la longitud del cauce principal.

Densidad de drenaje: es la relación entre la longitud total de los cursos de agua y el área total de la cuenca.

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

Ecuación 9. Ecuación para determinar densidad de drenaje.

Donde L la longitud total y A el área de la cuenca.

Tiempo de concentración: Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida (Chow, 1994b).

Existen muchos métodos para determinar el tiempo de concentración, entre esos se mencionan los siguientes.

- *T_c. Kirpich*

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.77}$$

Ecuación 10. Ecuación para calcular T_c según kirpich.

Donde T_c es expresado en horas, L es la longitud del cauce principal hasta la divisoria expresado en kilómetros, y S₀ es la pendiente promedio del cauce principal expresado en m/m.

- *T_c. Clark*

$$T_c = 0.335 \left(\frac{A}{S_0^{0.25}} \right)^{0.593}$$

Ecuación 11. Ecuación para calcular Tc según Clark.

Donde T_c es expresado en horas, A es el área de la cuenca expresado en Km², y S₀ es la pendiente promedio del cauce principal expresado en m/m.

- Tc. Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{25.3\sqrt{L_c S_0}}$$

Ecuación 12. Ecuación para calcular Tc según Giandotti.

Donde Tc es expresado en horas, L_c es la longitud del cauce principal expresado en km, S₀ es la pendiente promedio del cauce principal expresada en m/m, y A es el área de la cuenca km².

- Tc. Témez

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L_c}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Ecuación 13. Ecuación para calcular Tc según Témez.

Donde Tc es expresado en (horas), L_c es la longitud del cauce principal expresado en km, S₀ es la pendiente promedio del cauce principal en %.

4.3.9. Amenaza:

Peligro latente de que un suceso, acontecimiento o evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera involuntaria, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (UNGRD Y PNUD, 2012) .

4.3.10. Vulnerabilidad:

“Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente.” (Ley 1523, 2012) Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (UNGRD Y PNUD, 2012).

4.3.11. Riesgo de desastres:

Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523, 2012).

También se entiende tradicionalmente como la probabilidad de consecuencias negativas, daños y pérdidas que pueden resultar de la interacción entre amenazas y elementos ambientales, sociales y económicos en un sitio en particular durante un período definido (Yanes et al., 2019).

4.3.12. Prevención de riesgo:

Son medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible (Ley 1523, 2012).

4.3.13. Análisis y evaluación del riesgo:

Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación (UNGRD Y PNUD, 2012).

4.3.14. Percepción del riesgo:

Se define como las creencias, actitudes, juicio y sentimientos de las personas y las disposiciones sociales que adoptan hacia ese riesgo (Bolaños-Valencia et al., 2019).

5. Diseño metodológico

5.1. Área de estudio

El Pueblito es un barrio de la localidad suroccidente de barranquilla que se consolidó desde el punto de vista político-administrativo a partir de la década de los 90, sin embargo esta comunidad presentó asentamientos entre la década de los 80 y 90 (Quintero et al., 2008). La situación contemplada a raíz de los desbordamientos fijos en época invernal trajo impactos hacia la comunidad desde los inicios de su establecimiento, siendo así constantemente víctimas durante las temporadas de invierno. El evento en mención abarca principalmente la sección final del barrio, específicamente el área que limita con el paso del Arroyo León, el cual se encuentra en un estado de canalización incompleta, y permite obtener durante los eventos de desbordamiento un área estimada de influencia.

Para la presente investigación se estableció un área equivalente a 0.1071731 Km^2 con función de representar la zona de influencia por el desbordamiento del canal en el barrio *El Pueblito* (ver figura 3). Los criterios para determinar el área de estudio se tomaron con base a testimonios locales sobre el alcance de los sucesos de inundaciones más recientes (ISA, 2007), y se complementó con una tabla de coordenadas (ver ANEXOS, Tabla 23).

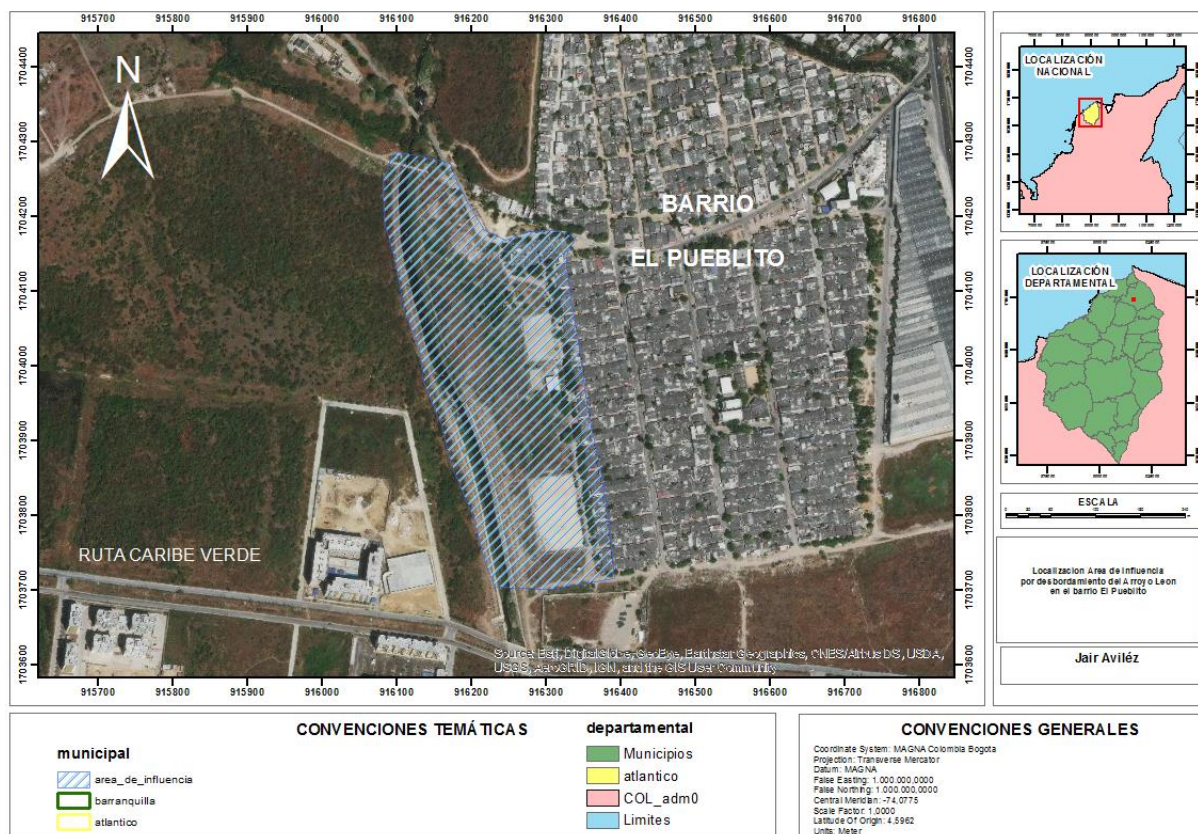


Figura 3. Sector final del barrio El Pueblito que interactúa con el canal. Fuente: propia del Autor.

El área delimitada se encuentra conformada por 2 canchas de fútbol, 83 viviendas habitadas, la calle 120 y el puente peatonal; estos representan a los elementos en riesgo ante cualquier eventualidad de desastre o amenaza, y son georreferenciados de manera conjunta con ubicaciones características que permiten identificar la zona y sus alrededores (ver ANEXOS, figura 14).

5.2. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta las características singulares presentes en la investigación realizada para el trato y obtención de información se estableció que el tipo de investigación empleado será de

tipo exploratorio con un enfoque mixto, esto debido a que el proyecto de grado desarrollado busca brindar nueva información acerca del riesgo percibido por la población afectada. Los resultados de la investigación servirán como material de apoyo o antecedente a futuras investigaciones referentes a la situación estudiada (Barrantes Echavarría, 2002). Para el trato de la información se llevó a cabo un trabajo de análisis conjunto con enfoque cualitativo y cuantitativo en simultaneo, brindando claridad e integridad en los aspectos de estudio (Danelly Salas Ocampo, 2019).

5.3. Metodología

Con fin de dar cumplimiento a los objetivos establecidos se desarrolló la investigación empleando una metodología constituida por tres etapas (características del canal, desarrollo de encuestas y reconocimiento; y evaluación de riesgos).

5.3.1. Características del canal (investigación bibliográfica)

Se llevo a cabo un estudio de la morfología del canal y la subcuenca donde reside la estructura de este. Para ello se apoyó en investigaciones pasadas sobre el Arroyo León permitiendo entender de cómo se relacionan estos aspectos con la problemática planteada.

Para el canal evaluado se delimitó una longitud de 100 metros de largo cuya sección transversal cuenta con una geometría trapezoidal, que entre los factores que ocasionan el desbordamiento se encuentra la falta de uniformidad en el canal. Cabe resaltar que la estructura se haya en estado incompleto por lo que el área de estudio designada para evaluar las medidas obtenidas de manera experimental equivale al sector revestido. El ancho de la base del canal

cuenta con una longitud de (14,80 m), el Angulo de inclinación de las paredes laterales (44°) y la longitud de las paredes inclinadas (5,32m). Estos valores se ajustan a la geometría transversal del canal, cuya forma es trapezoidal (ver figura 4).

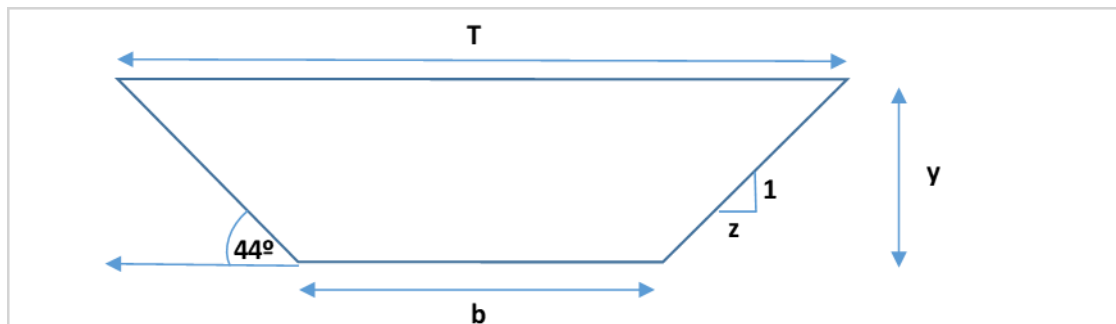


Figura 4. Sección transversal del canal de estudio. Fuente propia del autor

A continuación, se enlistan las características hidrológicas necesarias que correspondieron a la subcuenca del Arroyo León (ver tabla 5). Se ocupó como modelo de referencia el periodo de retorno empleado para la construcción de canales pluviales.

Tabla 5.

Características hidráulicas e hidrológicas para un canal pluvial

Características

Coefficiente de Manning

Periodo de retorno

Perímetro (Km)

Área (Km^2)

Long. Cauce (m)

S (%)

Long. Drenaje (m)

Índice De Gravelius

Factor de forma

Densidad de drenaje

Longitud de flujo

Sinuosidad

Nota: Características requeridas según (Chow, 1994a)

Como consulta adicional se requirió la determinación del tiempo de concentración de la cuenca, el cual se llevó a cabo por medio de diversos métodos de estimación (ver Tabla 6).

Permitiendo obtener un valor promedio que garantizó exactitud en los resultados.

Tabla 6.

Métodos de cálculo Tc.

Tiempo de concentración Tc.

Tc. Kirpich

Tc. Clark

Tc. Giandotti

Tc. Témez

Promedio

Nota: Métodos adaptados de (Universidad del Magdalena, 2010).

5.3.2. Diseño de encuestas y reconocimiento del área de estudio

5.3.2.1. Diseño de encuestas

La etapa desarrollada consistió en el diseño y aplicación de una encuesta de percepción y análisis del riesgo enfocada a la amenaza de estudio la cual es inundación por el desbordamiento del canal perteneciente al tramo del Arroyo león.

Para la etapa de diseño se llevó a cabo una investigación a partir de fuentes de información secundarias, las cuales respaldaron el proceso para la creación de las encuestas. El objetivo que se buscó alcanzar con la aplicación de las encuestas fue recolectar información sobre el alcance y magnitud de la amenaza, también entender la situación de la comunidad que lleva afectada por la amenaza desde décadas atrás, ya que la experiencia y exposición a sucesos recurrentes desarrolla en los afectados la capacidad de percibir e influir en las decisiones respectivas a la problemática (Bolaños-Valencia et al., 2019), para esto se diseñó una serie de preguntas enfocadas a evaluar la percepción social de los riesgos generados por el canal, y así dar por culminada la etapa de diseño (ver ANEXOS, tabla 23).

Prosiguiendo con la etapa de aplicación y reconocimiento, esta se realizó con base a la delimitación establecida del área de estudio y la selección de casas con características potenciales para la aplicación de la encuesta. Para dicha selección se optó por elegir la primera línea de casas que se encuentran ubicadas en sentido paralelo con el recorrido del canal (Ver figura 3).

Durante la etapa de aplicación se promovió la participación voluntaria, lo que obligó a considerar dentro de los posibles resultados una baja participación por parte de los habitantes del área de estudio. La estrategia desarrollada para cubrir esta posible amenaza para el estudio realizado fue lograr conseguir una participación mínima equivalente al 50% de las casas ubicadas en el área de estudio delimitada.

Las características de este proyecto que determinan aspectos como el cálculo de confiabilidad durante el proceso de encuestado no representa un factor significativo teniendo en cuenta que las encuestas realizadas son para llevar análisis de la percepción del riesgo generada por parte de los habitantes expuestos a la amenaza de inundación, y no es el eje central del estudio realizado. Los resultados de la etapa de encuestas se tabularon de manera que se llevó a cabo una organización cualitativa y cuantitativa que facilitó el proceso de análisis.

5.3.2.2. Reconocimiento del área de estudio

Para la presente etapa se determinó la recolección de información in situ que logró evidenciar la problemática y los factores vulnerables debido a los acontecimientos de inundación presentes en la zona. Para dicho proceso se vio pertinente que el área de estudio presentara los efectos consecuentes del suceso amenazante, haciéndose necesario para adquirir evidencia fotográfica (ver ANEXOS, imágenes de evidencia) y testimonios durante el evento de riesgo.

También se llevó a cabo un reconocimiento de las características físicas de las casas donde se realizaron las encuestas con el objetivo de levantar juicios y observaciones que generen aporte al análisis de vulnerabilidad y evaluación de riesgo.

5.3.3. Evaluación del riesgo

En esta etapa se elaboró la valoración y calificación del nivel de riesgo presente en el área de estudio, determinado por las amenazas identificadas, factores de vulnerabilidad y los elementos en riesgo de la zona. La metodología empleada para diseñar los criterios y formulación de la evaluación del riesgo se basó en la propuesta hecha por (UNGRD Y PNUD, 2012). La cual posibilita modificación para complementar o adaptarse a las situaciones y particularidades propias del caso de estudio.

El método para estimar el nivel riesgo se determinó por el cálculo de los factores de riesgo presentes en el área de estudio. Para esta operación se necesitó la identificación de las amenazas y criterios de vulnerabilidad, las cuales hacen parte de los conceptos fundamentales que componen el nivel de riesgo de un evento (ver figura 5).

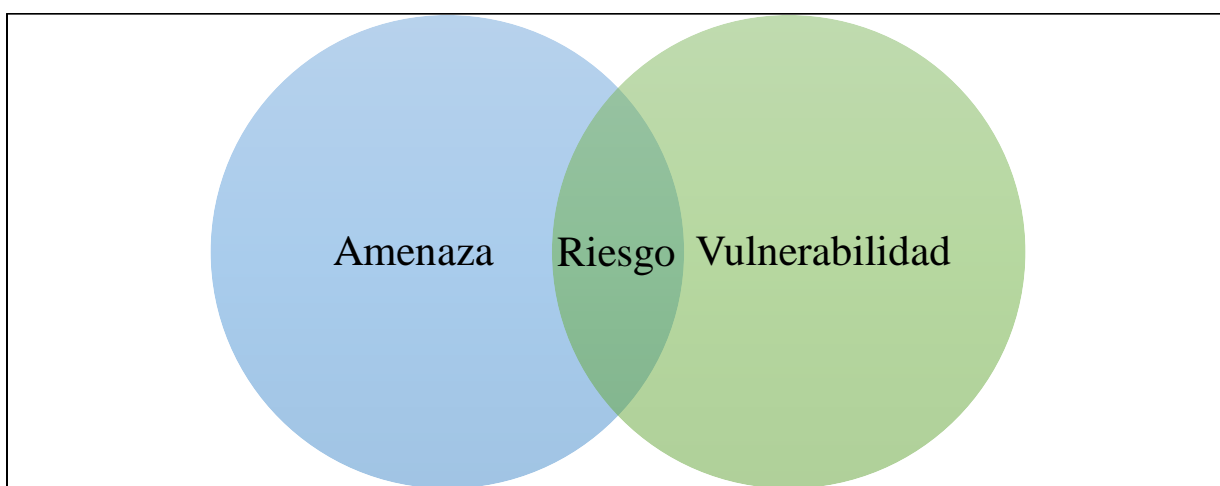


Figura 5. Conceptos fundamentales en la gestión de riesgo. Adaptado de pag.24 (UNGRD Y PNUD, 2012)

5.3.3.1. Análisis de amenazas

Para la etapa desarrollada se describieron las variables que componen el factor de riesgo en mención (ver figura 6). Las cuales son calificadas para evaluar el nivel de amenaza.

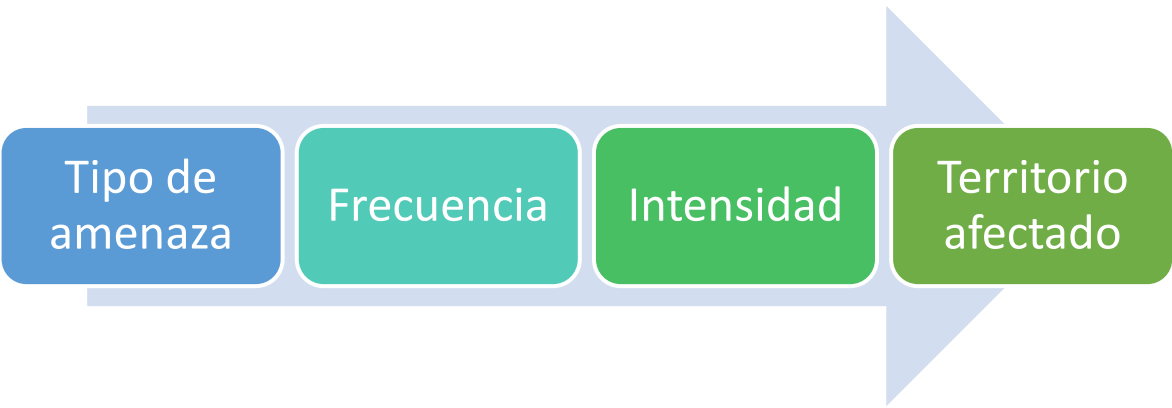


Figura 6. Variables para realizar análisis de amenazas. Adaptado de pag.26 (UNGRD Y PNUD, 2012).

La metodología empleada se basó en una adaptación de la guía mencionada anteriormente con una valoración más específica y de acuerdo con la situación planteada al caso (ver tabla 7).

Tabla 7.

Criterios de evaluación para el análisis de amenazas

AMENAZAS								
FRECUENCIA			INTENSIDAD			EXTENSION		
descripción	valor	calificación	descripción	valor	calificación	descripción	valor	calificación

El evento se puede presentar una vez cada 3 meses	9	Corto plazo	Generación de muertes y/o grandes pérdidas en dinero	9	Alta	Los efectos alcanzan toda el área del proyecto y presentan tendencia a cubrir más área, afectan de manera grave a los vecinos	9	Alta
El evento se puede presentar una vez cada 6 meses	8		Generación de lesiones permanentes y/o gran cantidad de heridos, así como pérdidas económicas	8		Los efectos alcanzan toda el área del proyecto y afectan de manera grave a los vecinos	8	
El evento se puede presentar una vez al año	7		Generación de algunos heridos y pérdidas económicas	7		Los efectos alcanzan toda el área del proyecto y afectan de manera leve a los vecinos	7	
El evento se puede presentar una vez cada 2 años	6	Mediano plazo	Lesiones personales de no mucha gravedad y/o pérdidas económicas de consideración	4 - 6	Media	Los efectos alcanzan toda el área del proyecto, pero sin efectos sobre los vecinos	6	Media
El evento se puede presentar una vez cada 3 años	5					Los efectos alcanzan una extensión equivalente al 50 % del área del proyecto, pero con efectos leves sobre los vecinos	5	

El evento se puede presentar una vez cada 5 años	4				Los efectos alcanzan una extensión equivalente al 50 % del área del proyecto, pero sin efectos negativos sobre los vecinos	4		
El evento se puede presentar una vez cada 10 años	3				Los efectos se expanden 100 m desde donde se origina la amenaza	3		
El evento se puede presentar una vez cada 15 años	2	Largo plazo	Lesiones muy leves y/o pérdidas económicas muy pequeñas	1 - 3	Baja	Los efectos se expanden 50 m desde donde se origina la amenaza	2	Baja
El evento se puede presentar en periodos superiores a 15 años	1						Los efectos se producen en el lugar donde se originó la amenaza	

Nota: Criterios diseñados por el autor. Adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

Siguiendo el mismo modelo metodológico se procedió con la calificación del nivel de amenaza a partir de los valores asignados a cada variable. Para realizar el proceso se empleó la formula (ver figura 7) descrita en los documentos de referencia (Yanes et al., 2019) y (UNGRD Y PNUD, 2012).

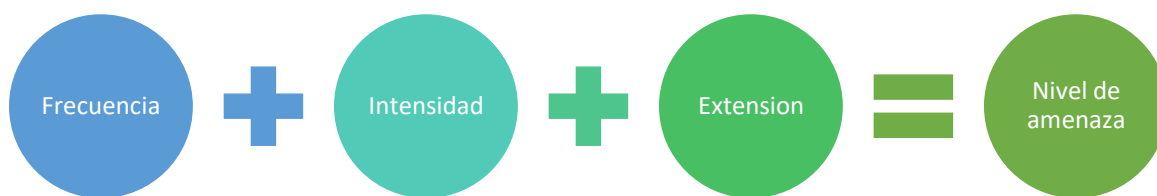


Figura 7. Método para estimar el valor de la amenaza. Por (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

Una vez estimado el valor correspondiente a la amenaza de análisis, se procedió con la clasificación según estos resultados, para lo cual se hizo uso de una tabla que clasificara los niveles de amenaza de acuerdo con su valor numérico (ver tabla 8).

Tabla 8.

Clasificación de las amenazas según su calificación.

calificación amenazas	
BAJO	3 - 12
MEDIO	13 - 17
ALTO	18 - 27

Nota: Rangos establecidos por el autor. Adaptada de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

5.3.3.2. Análisis de vulnerabilidad

La etapa consistió en la identificación de los factores de vulnerabilidad que inciden en el área de estudio, teniendo en cuenta la amenaza de enfoque. Cada uno desglosó una serie de aspectos presentes en la zona de influencia, para esto se clasificó según el panorama que evaluó los factores de vulnerabilidad (ver figura 8).



Figura 8. Factores de vulnerabilidad. Adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

Con el objetivo de brindar una calificación detallada, se describió cada factor teniendo en cuenta el mismo rango de calificación empleado para el análisis de amenaza (ver tabla 9).

Tabla 9.

Descripción de los factores de vulnerabilidad

Factores de vulnerabilidad	alta 7-9	media 4-6	baja 1-3
Victimas	Muerte o incapacidad total; alto número de victimas	Lesiones graves con incapacidad parcial o permanente, valor promedio de víctimas para el tipo de amenaza	Sin lesiones o lesiones leves, bajo número de victimas

Económica y/o material	Escasa cobertura de los servicios públicos, población en situación de pobreza extrema, pérdida total de bienes materiales y vivienda	Regular cobertura de servicios públicos, población por debajo de la línea de pobreza, pérdida 50% enseres y electrodomésticos, daño parcial en la vivienda	Cobertura total de servicios públicos, población sin pobreza, daños mínimos o nulos sobre enseres y electrodomésticos, ningún daño sobre la vivienda.
Ambiental	Impacto permanente, de efecto directo, recuperable a largo plazo y reversible	Impacto temporal, de efecto indirecto, recuperable a mediano plazo y reversible a mediano plazo	Impacto fugaz, de efecto secundario, recuperable de manera inmediata y reversible en corto plazo
Física	Estructura muy cerca al canal; mal estado de conservación; o construida con materiales poco resistentes (madera, bareque, etc.)	Estructura cercana al canal; deterioro leve sobre su estructura; y construida con materiales básicos no aptos para soportar el evento (concreto, ladrillo, metal, techo, etc.)	Estructura alejada o a distancia prudente del canal; en estado óptimo de conservación; construido con materiales de alta resistencia (concreto rígido, bloque, hierro estructural, etc.)

Nota: Criterios diseñados por el autor. Adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

La metodología utilizada para estimar los niveles de vulnerabilidad fue similar a la desarrollada para el análisis de amenazas, siendo esta la suma de los distintos factores de vulnerabilidad descritos previamente (ver figura 9).



Figura 9. Método para estimar el valor de la vulnerabilidad; Por (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

La clasificación de los niveles de vulnerabilidad se determinó de misma forma que la de amenazas, por medio de una tabla que cataloga a través de rangos numéricos (ver tabla 10).

Tabla 10.

Clasificación de la vulnerabilidad según su calificación.

calificación vulnerabilidad	
BAJO	4 - 15
MEDIO	16 - 23
ALTO	24 - 36

Nota: Rangos establecidos por el autor. Adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

5.3.3.3. Análisis de riesgo

Con la determinación de los factores que estructuran el riesgo se procedió con el cálculo de este permitiendo establecer los niveles de significatividad de acuerdo con las amenazas identificadas y los elementos en riesgo que tomaron parte en el análisis de vulnerabilidad. Los resultados de estos factores fueron introducidos en una operación matemática para obtener la calificación del nivel de riesgo (ver figura 10).

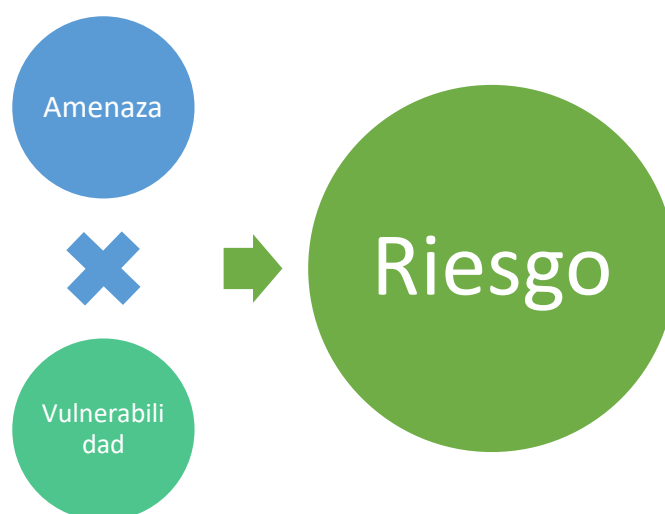


Figura 10. Método para calcular el nivel de riesgo asociado. Por (UNGRD Y PNUD, 2012).

Para establecer los rangos atribuidos que dan el valor del riesgo se utilizó un método cualitativo que brindó facilidad en el desarrollo (ver tabla 11). Esta metodología permitió identificar las amenazas más significativas a través de su clasificación y valor numérico.

Tabla 11.

Clasificación según factores de riesgo.

amenaza alta	riesgo medio	riesgo alto	riesgo alto
amenaza media	riesgo bajo	riesgo medio	riesgo alto
amenaza baja	riesgo bajo	riesgo bajo	riesgo medio
	vulnerabilidad baja	vulnerabilidad media	vulnerabilidad alta

Nota: Adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012; Yanes et al., 2019).

Una vez determinado el nivel de riesgo (alto, medio o bajo) se clasificó junto con los que recibieron valor numérico alto, con el objetivo de establecer cuales presentaron mayor relevancia; para así organizar según su magnitud y dar un análisis al respecto.

6. Resultados y análisis

6.1. Características hidráulicas e hidrológicas

Con base a datos obtenidos de manera experimental se procedió a calcular los datos faltantes del canal por medio de principios matemáticos y ecuaciones establecidas según la sección transversal (Chow, 1994a), como la altura del canal (3,69 m).

Se debe tener en cuenta que las dimensiones al cambiar afectan considerablemente la capacidad hidráulica y por ende el caudal. Teniendo en cuenta el concepto de “Borde Libre” se trabajó otorgando 1/5 de la altura del canal como nivel de tolerancia, permitiendo trabajar con los siguientes datos expresados en unidades de metros:

Tabla 12.

Resultados de las variables correspondientes a la sección transversal

Base	Z	Y	Concreto RL	S
14,8	1,04	2,95	0,012	0,01

Nota: Valores obtenidos mediante cálculos experimentales e información secundaria.

Gracias al estudio de reconocimiento se pudieron extraer los datos mencionados experimentalmente, donde cabe resaltar el valor correspondiente al coeficiente de rugosidad de Manning, cuya obtención se realizó por medio de fuentes bibliográficas (Chanson, 2002).

Como se mencionó anteriormente se adoptó una medida estipulada para el concepto de “borde libre”. Lo cual provocó ajustes en los valores de referencia que permitieron realizar la rectificación de la capacidad hidráulica del canal.

Cada dato experimental sirvió de pilar para el desarrollo en la estimación de los cálculos pertenecientes a la sección del canal, siendo estos los que describen las características hidráulicas para sistemas que funcionan a cielo abierto (ver tabla 13).

Tabla 13.

Cálculos Hidráulicos para Sección trapezoidal

Área	Perímetro mojado	R hidráulico	Ancho superficial	Profundidad hidráulica
52,7106	26,716843	1,9729352	20,936	2,5177016

Nota: Valores obtenidos mediante cálculos con ecuaciones para canales abiertos de sección trapezoidal (Chow, 1994a).

Con la obtención de los valores anteriores se abrió paso para realizar los cálculos faltantes para el diseño de un canal abierto, siendo estos resultados los que determinan la capacidad hidráulica del canal (ver tabla 14).

Tabla 14.

Valores de diseño para el canal del Arroyo León.

Variable de diseño	Resultado
<i>Caudal</i>	$1029,544m^3/s$
<i>Velocidad</i>	$19,532 m/s$
<i>Numero de froude</i>	3,9

Nota: Datos obtenidos mediante cálculos empleados con las fórmulas para canales abiertos expresada en (Chow, 1994a)

A partir de los datos experimentales se abrió campo para realizar cálculos teóricos, dando como resultado los valores anteriores. De estos se analiza el tipo de flujo perteneciente al canal,

el cual equivale a un flujo supercrítico siendo este un valor lógico debido a las altas velocidades que maneja este. A raíz del tipo de flujo se entiende que “las fuerzas viscosas son mayores que las gravitacionales” (Jiménez, 2015), razón que reafirma la presencia de velocidades altas.

La microcuenca del Arroyo León forma un drenaje que desemboca la Ciénaga de Mallorquín y parte del Lago Cisne (Lagos del Cuajarla). Por lo tanto, para llevar a cabo un trabajo de

adecuación y canalización de uno de los arroyos es necesario conocer las características hidrológicas de la subcuenca (ver tabla 15).

Tabla 15.

Resultados de las características hidrológicas de la subcuenca.

Características	Valores
Coeficiente de Manning	0,03
Periodo de retorno (años)	25
Perímetro (Km)	48,59
Área (Km ²)	65,06
Long, Cauce (m)	8900,68
S (%)	0,06
Long, Drenaje (m)	256483,95
Índice De Gravelius	1,70
Factor de forma	0,82
Densidad de drenaje (km/km ²)	3,94

Longitud de flujo	0,06
Sinuosidad	1,46

Nota: Valores extraídos del estudio para la adecuación y estabilización de la sección hidráulica del Arroyo león para evitar inundaciones (Universidad del Magdalena, 2010).

Los datos anteriores corresponden a la información morfométrica de la subcuenca, de la cual pudo levantarse su análisis de comportamiento. Tomando como eje central el índice de Gravelius, se infiere que el área correspondiente presenta un índice moderado de inundación. Asignando una forma *ovaloblonga* – *rectanguloblonga* (Monsalve Sáenz, 1999). A pesar de mantener una tendencia moderada de inundación, se resalta el valor que presenta el factor de forma siendo este cercano a 1. Esta situación determina que la velocidad de creciente en el cauce es relativamente elevada. Otro aspecto que es muy importante para el análisis de inundación es la densidad de drenaje, siendo esta muy buena a nivel general. Por lo que los eventos de creciente y desbordamiento no deberían presentar un periodo largo de presencia.

Existen muchos factores que determinan la velocidad en la que un flujo de agua recorre la cuenca, entre esos el tiempo de concentración. Este condiciona la esorrentía del agua lluvia desde el inicio hasta el final de la cuenca. A lo largo de los estudios hidrológicos han surgido muchos autores con propuestas diferentes buscando explicar los tiempos de conservación, por lo que no es correcto quedarse con un solo método para estimar este (ver tabla 16). A continuación, se agregaron los resultados obtenidos a partir de los 4 métodos seleccionados para calcular el Tc.

Tabla 16.

Resultados del Tiempo de Concentración según su método.

Tiempo de concentración Tc.	Valores (horas)
Tc. Kirpich	6,1803285
Tc. Clark	35,943321
Tc. Clark	24,671712
Tc. Témez	2,6967093
Promedio	17,3730177

Nota: Valores obtenidos con base a las ecuaciones descritas en (Upegui & Gutiérrez, 2011; Villegas, 2014).

Según la tabla anterior, los valores obtenidos son muy distintos según el método utilizado. Razón por la cual se llevó a cabo el promedio de estos resultados. A partir del valor obtenido se pudo analizar que la velocidad con la que todos los puntos de la subcuenca aportan al desagüe de esta es relativamente lenta en relación con el área determinada.

La inclinación total de la subcuenca aporta a que la velocidad de flujo sea moderada (Universidad del Magdalena, 2010). Sin embargo, el resultado manejado para expresar el tiempo de concentración nos dice que esta velocidad está más cerca del rango bajo que del rango alto, atribuyéndosele como otra posible causa que justifica la ocurrencia de los eventos de inundación.

6.2. Encuestas y reconocimiento.

A través del ejercicio de entrevistas a las personas situadas en el área de estudio se fijó una muestra de 37 viviendas con relación a las 83 identificadas, siendo este el número que equivale a un nivel de confianza del 90% a margen de error del 10%, suficiente para emitir un análisis general de los patrones de respuesta.

El proceso de encuestas se vio determinado por la participación abierta de la población afectada, siendo un representante por hogar. Teniendo en cuenta el número total de viviendas (83), se estimó una participación superior al 40%, esto enfocado a determinar la percepción que tienen sobre los riesgos presentes debido a las condiciones del canal.

Los datos obtenidos permitieron identificar las características individuales de los participantes, dentro de las que se destacan (edad, sexo, tiempo de residencia, etc.). Abriendo la opción de tabular de manera que se establezca el valor medio. La muestra contó con la participación de 37 personas, distribuidas en 12 personas de género masculino y 25 de género femenino. La edad media que se obtuvo fue de 51 años, permitiendo interpretar que es una población de edad avanzada la que se encuentra expuesta a los riesgos estudiados en la presente investigación. El tiempo medio de residencia fue de 33 años siendo un valor atribuible a la edad promedio de los habitantes, este resultado permitió comprobar la exposición durante años a los sucesos de inundación a través de testimonios sobre las experiencias ante el evento.

La comunidad participante presentó un nivel de formación básico, siendo esta en su mayor parte bachillerato y primaria (ver tabla 17).

Tabla 17.

Nivel de formación académica de los encuestados

Formación académica	
Primaria	11
Bachillerato	20
Tecnico-tecnologo	5

Universidad	1
Posgrado	0
Otro	0

Nota: Resultados obtenidos de análisis estadístico de las encuestas.

Las respuestas obtenidas de las encuestas se organizaron de forma que evaluaran la percepción de los habitantes que conforman la muestra en tres ejes focales (general, subjetiva y causa-respuesta) permitiendo establecer un análisis que conlleve a la determinación del impacto social provocado a raíz los sucesos de inundación.

6.2.1. Percepción general

La comunidad demostró en su mayor parte tener conocimiento acerca de la procedencia hídrica que transporta el canal atribuyéndosele un total de 22 personas que afirmaron saber de dónde provienen las aguas, representando un 59% de las respuestas que encasillan el conocimiento sobre este y el 41% que declaran no tener idea alguna.

El impacto ocasionado sobre la economía y el comercio fue abarcado dentro del marco general, lo que permitió establecer la relación y efectos ocasionados sobre los locales comerciales debido a los sucesos de inundación, siendo estos resultados muy semejantes. El 49% de la muestra manifestó que los locales comerciales si se ven afectados de manera negativa a raíz de las inundaciones presentadas, expresando que ocurren pérdidas de materiales para la venta e incluso dificultad de acceso causando una disminución en estas. Mientras que el 51% expresó no haber ningún riesgo sobre el sector económico y comercial, debido a que no hay muchos locales en el área de estudio.

Estos resultados reflejan la percepción sobre temas generales que asocian a la población e impulsan a destacar los factores vulnerables en el área de estudio (ver figura 11). Las preguntas empleadas en la encuesta fueron descritas el formato de percepción social (ver ANEXOS, tabla 23), donde 1). ¿Considera perjudicial para la comunidad que el canal se encuentre incompleto?, 2). ¿Tiene conocimiento de donde proviene el agua que transporta el canal?, 8). ¿Siente que de alguna manera los establecimientos comerciales se ven afectados de manera negativa con el desbordamiento del canal?

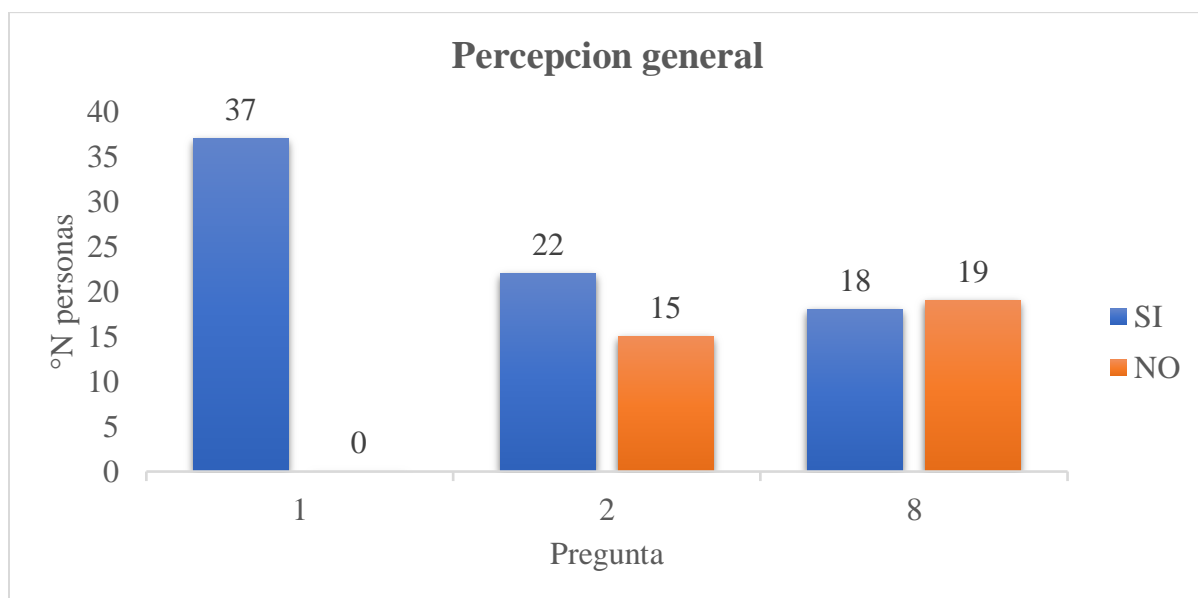


Figura 11. Resultados percepción general. Fuente: propia del autor.

A partir de los datos analizados se logra afirmar que el área de estudio presenta una zona residencial con pocos establecimientos comerciales, por lo que a nivel económico las pérdidas se limitan a materiales y electrodomésticos en los hogares establecidos.

6.2.2. Percepción subjetiva

Los resultados sujetos a la perspectiva individual son aquellos que permiten establecer que tanto influye un acontecimiento sobre la cotidianidad de una persona, como afecta o cómo influye sobre su desarrollo de vida (Cajal, 2017). La encuesta realizada encasillo aspectos subjetivos de los cuales se evidencio la completa exposición por parte de los habitantes hacia los sucesos de inundación, obteniendo un índice del 100% de la muestra que afirma sentirse vulnerable ante la amenaza manifestada durante la temporada invernal.

La presencia de acontecimientos frecuentes en una población causa en los individuos la particular capacidad de anticipar cuando estos eventos están por suceder (Montero & Batista, 2019). Durante la encuesta se evidenció que la mayor parte de las viviendas se encuentran establecidas desde un tiempo superior a los 30 años, ocasionando que los propietarios debido a la frecuencia de los eventos y los años de experiencia puedan desarrollar esta capacidad en mención. Como resultado se obtuvo que el 73% de la muestra afirma si saber o percibir cuando esta por suceder el evento de desbordamiento, mientras que el 27% afirman no poder percibir si el canal esta por superar su capacidad debido a que son “*sucesos impredecibles*” según manifiestan.

El departamento del Atlántico tiene uno de los históricos que constituyen los problemas más graves de salud pública en el país (Padilla et al., 2012 pp.101). La presencia de brotes de enfermedad afecta al 80% de población, extendiéndose por todos sus municipios. Pero el 60,2% de los registros se sitúan en la ciudad de Barranquilla, siendo así la principal contribuyente al crecimiento de los casos de dengue.

Teniendo en cuenta que Barranquilla presenta antecedentes de enfermedades cuya transmisión se debe a vectores (mosquitos, moscas, ratas, etc.) se decidió abarcar el área de la salud pública entre los estudios de percepción en la encuesta. Como resultado se obtuvo que el 94,6% de la muestra considera la obra inconclusa como un potencial hogar para vectores portadores de enfermedades (entre esas, dengue), debido a que se crean zonas donde sucede estancamiento de agua que favorece el crecimiento de moscas y mosquitos, además de ser un espacio ideal para que alberguen roedores.

En función de conocer la opinión de las personas que hicieron parte del proceso de encuesta, se consultó que tan pertinente resultaría una propuesta que busque terminar la obra, y si esta mejoraría sustancialmente las condiciones actuales que se presentan con la llegada de la temporada de invierno. Los resultados obtenidos abarcaron la totalidad de las personas que representan la muestra siendo este 100% una respuesta que afirma ser adecuada la terminación del canal ya que traería bienestar para la comunidad en general. El análisis subjetivo se basó en la organización estadística de los resultados (ver figura 12), donde las preguntas realizadas para el enfoque de análisis fueron: 3). ¿Siente que la obra sin terminar representa una amenaza para usted en época de invierno?, 5). ¿Usted logra percibir cuando el canal está a punto de desbordarse?, 7). ¿Piensa usted que la zona sin terminar de la obra es un potencial generador de vectores (moscas, ratas, mosquitos, etc.) ?, 11). ¿Considera que una propuesta para completar la obra afectaría positivamente la situación del área en época de invierno?

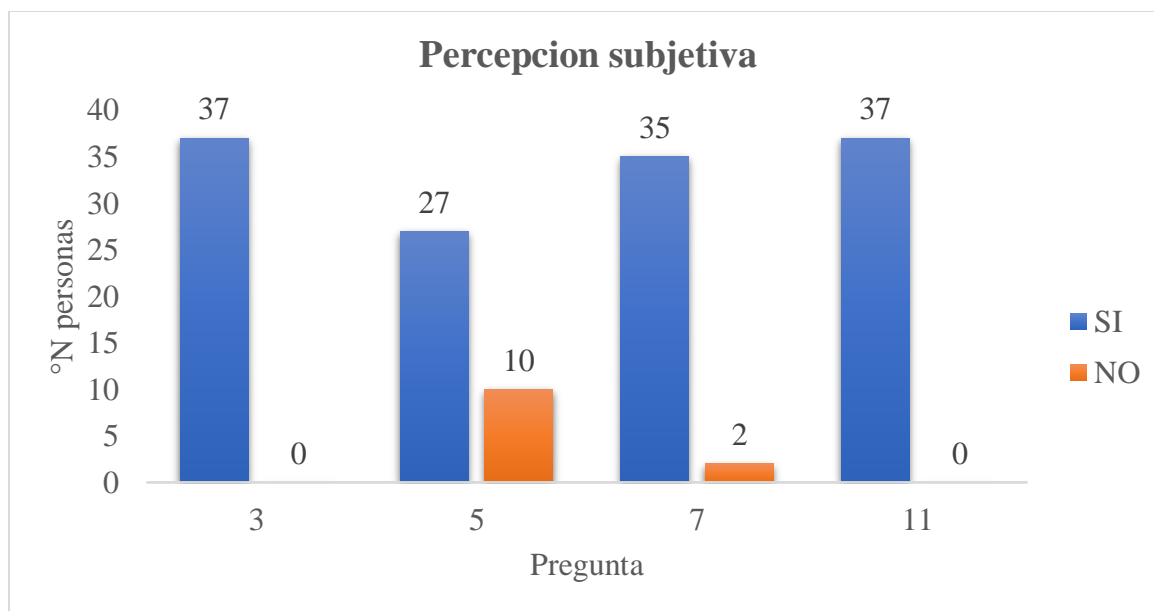


Figura 12. Resultados percepción subjetiva. Fuente: propia del autor.

6.2.3. Percepción de causa-respuesta

La sección desarrollada analiza la percepción que los habitantes de la zona de influencia tienen sobre ciertas actividades que impulsen los sucesos de inundación, además de la atención prestada por parte de entes gubernamentales ante el panorama de riesgo (ver figura 13), Donde las preguntas seleccionadas para el enfoque de análisis son: 4). ¿Considera que la acción de arrojar basura por parte de la comunidad está involucrada con los sucesos de desbordamiento?, 6). ¿Considera que existe relación entre la llegada de la época invernal y el incremento en el arrojo de basura al canal?, 9). ¿Existe interés por parte de los entes públicos (alcaldía, gobernación, entes ambientales) ?, 10). ¿La junta de acción comunal toma responsabilidad del asunto en busca de reducir los desbordes?

Entre las actividades que se ven directamente relacionadas con los desbordamientos del canal se encuentra el depósito incontrolado de residuos al interior de este. La muestra mantiene conocimiento acerca de esta problemática, de la cual el 83,8% expresó que, si existe relación entre la acción de arrojar basura y el desbordamiento del canal, ocasionando que sea una de las principales causas de los eventos amenazantes. El 16,2% afirmó no ser ese el motivo de los desbordamientos, atribuyendo la causa a un mal diseño del canal.

Los eventos de inundación tienen mayor presencia durante la época invernal, por lo que se interpreta que existe algún incremento en la acción de arrojar basura. Los participantes de la muestra dieron a conocer su punto de vista al respecto, obteniendo un resultado del 59,4% que expresan que no existe aumento alguno según la etapa del año, la acción se mantiene constante. En cambio, el 40,5% declaran que entre más se presenten eventos de lluvia, mayor es el arrojado de basuras dentro del canal.

Ante esta situación, numerosas personas afirmaron establecer contacto con entes gubernamentales y representantes de la comunidad (junta de acción comunal JAC) con el objetivo de brindar solución a dicha problemática. Sin embargo, los esfuerzos por conseguir ayuda no fueron suficientes, ya que no se presentó ningún interés por parte de alcaldía o gobernación según el análisis de los resultados, donde el 62,2% de los encuestados declaran que los entes gubernamentales no han mostrado interés alguno por la problemática presente. Y el otro 37,8% expresan que, si se manifiestan, pero no se concretan soluciones.

Los habitantes también mencionaron que se llevaron a cabo peticiones a la JAC, pero a estas no se les dio interés según se interpreta de los resultados, donde, el 81% de la muestra expresó

que no ha existido interés por parte de la JAC para solucionar los problemas de desbordamiento.

La falta de atención ha causado que exista un deterioro en la infraestructura del canal obteniendo como consecuencia una pérdida considerable de la capacidad hidráulica de este.

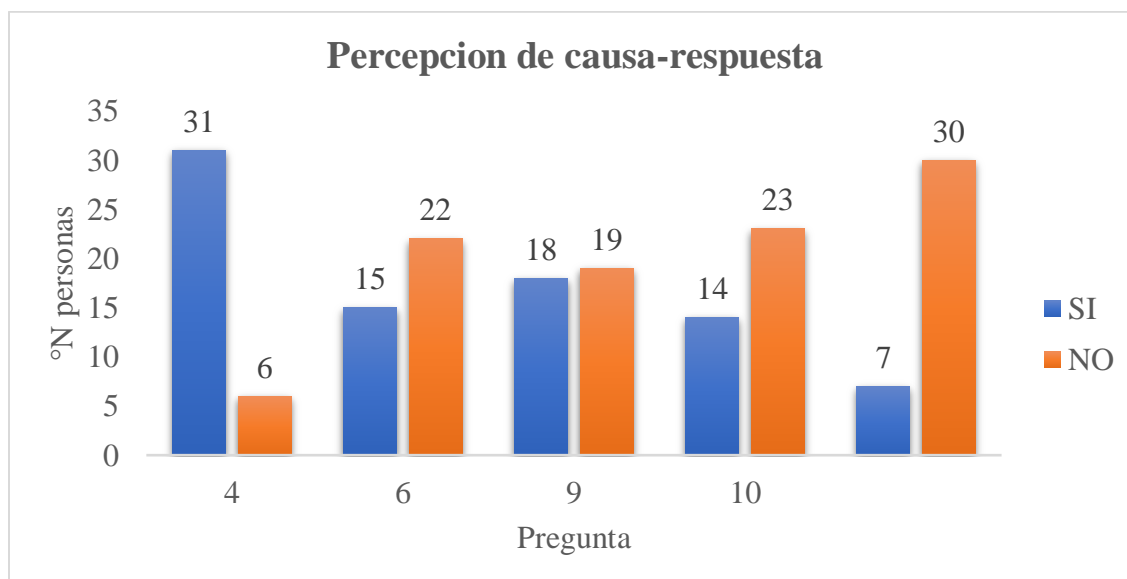


Figura 13. Resultados de percepción causa-respuesta. Fuente: propia del autor

6.2.4. Observaciones y opiniones individuales

Parte del proceso de encuestas consistió en realizar el análisis de la condición física de los elementos en riesgo relacionados con la amenaza de inundación (casas, puente, EDAR, etc.).

Entre los resultados del análisis se definieron las condiciones físicas de las viviendas, así mismo se evidenciaron grietas en las paredes, falta de elevación en el nivel de las casas y materiales que las constituyen expuestos al deterioro. Estas características potencializan la vulnerabilidad ante sucesos amenazantes, aumentando de esta manera el riesgo presente.

Entre las observaciones destacadas que expresan las causales de los desbordamientos se encerraron las siguientes según testimonios de la población encuestada (falta de mantenimiento en la superficie del canal, negligencia empresarial, cultura ciudadana), logrando una justificación general que logra explicar la posible causa.

6.2.4.1. Falta de mantenimiento en la superficie del canal

La obra lleva su incompleta constitución desde el mes de agosto del 2015. Siendo esta el centro de colmatación y sedimentación sobre su superficie, disminuyendo así su capacidad hidráulica de drenaje. Por ende, los mantenimientos realizados no son lo suficientemente constantes para impedir el crecimiento de la maleza y garantizar conservar la capacidad hidráulica del canal.

6.2.4.2. Negligencia empresarial

Situado a un lado del canal se encuentra la “EDAR *El Pueblito*”, cuya función es recolectar las aguas residuales de gran parte del suroccidente de Barranquilla. La EDAR cuenta con un sistema de retención de residuos, la cual en conjunto con un sistema de compuertas son los principales causantes de los eventos de inundación según testigos locales. Los pobladores se dirigen a esta acción como el método para impedir que el exceso de basuras altere las actividades de la planta, razón por la cual cuando hay lluvias torrenciales y carga de excesiva de residuos en el flujo del canal estos se ven obligados a cerrar las compuertas.

6.2.4.3. Cultura ciudadana

Las personas cumplen un papel fundamental al momento de evaluar las causales de un evento amenazante, más si este puede ser de origen humano. Según testimonio de los encuestados el área cuenta con cobertura completa de los servicios básicos de aseo, contando con un horario para recolección de basuras establecido. Pero cuando este servicio no es atendido por parte de los habitantes, algunos adoptan la opción de contratar un servicio de disposición personal (vehículos de tracción animal o motor) para eliminar sus residuos, sin saber que muchos de estos van a parar al interior del canal, incrementando así depósito de sedimentos y disminuyendo la capacidad hidráulica del canal que a su vez aumenta el nivel de riesgo relacionado a cualquier amenaza concatenada.

6.3. Evaluación del riesgo

En la etapa de evaluación del riesgo se desarrolló de manera inicial la selección de amenazas presentes en el área de estudio. Esto se llevó a cabo a través de una lista de comprobación (*check list*) donde se determinó la influencia en el caso y la significatividad (ver tabla 18). La selección de las amenazas se fundamentó gracias al listado obtenido de la Guía Metodología para Planes Departamentales de Gestión del Riesgo (UNGRD Y PNUD, 2012).

Tabla 18.

Check list amenazas – elementos

°N	AMENAZAS (PMGR ATLANTICO)	INFLUENCIA EN EL CASO		SIGNIFICATIVO		OBSERVACIONES
		SI	NO	SI	NO	
1	Inundación natural	x		x		
2	Remoción en masa		x			

3	Deslizamiento		x			
4	Licuación		x			
5	Huracanes		x			
6	Vendavales	x			x	
7	Pluviosidad	x		x		constantes lluvias
8	Sequias	x			x	
9	Erosión del suelo	x			x	
10	Tsunami/maremoto		x			
11	Sismos		x			
12	Vulcanismo de lodo		x			
13	Incendios forestales					
14	tecnológicas (cierre de compuertas)	x		x		
16	Enfermedades	x		x		vectores a raíz del canal
17	Derrames		x			
18	Incendio estructural		x			
19	Generación de residuos sólidos (canal)	x		x		la comunidad deposita residuos que son arrastrados por el canal.
20	Contaminación del agua		x			
21	Contaminación atmosférica		x			
22	Colmatación	x		x		
23	Situaciones de orden publico	x			x	presencia de consumidores de drogas alrededor del canal
23	Ascenso del nivel del mar		x			
TOTAL		10	12	6	4	

Nota: Lista de amenazas adaptada de (UNGRD Y PNUD, 2012)

Para la determinación del nivel de riesgo se tuvo como siguiente etapa establecer la interacción de las amenazas identificadas en el área y los elementos en riesgo (ver tabla 19), desarrollando así un análisis primario de la extensión de cada amenaza identificada.

Tabla 19.

Matriz de interacción amenaza – elementos

ELEMENTO AMENAZAS	CANAL	VIVIENDAS	E.D.A.R.	CANCHAS DE FUTBOL	CALLE 120	PUENTE PEATONAL
inundaciones	X	X	X	X	X	X
vendavales		X				X
pluviosidad	X	X	X	X	X	X
sequias	X				X	
erosión del suelo	X			X	X	
tecnológicas (cierre de compuertas)	X	X	X	X	X	X
enfermedades		X				
generación de residuos sólidos	X		X			X
colmatación	X		X			
situaciones de orden publico	X					

Nota: La matriz relaciona la interacción de las amenazas con los elementos en riesgo identificados.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se pudo establecer que las amenazas que presentan mayor interacción con los elementos en riesgo son aquellas cuyo origen establecen dependencia del fenómeno de precipitación, como lo son inundaciones, pluviosidad y amenazas tecnológicas (cierre de compuertas debido a la cantidad de agua en escorrentía que circula por el canal). Esta matriz de interacción permitió estimar la extensión de algunas amenazas, y de esa forma comparar con los resultados de la matriz de riesgo desarrollada.

6.3.1. Evaluación de amenazas

De acuerdo con la metodología planteada, la evaluación de amenazas se desarrolló a partir de las variables que componen el factor de riesgo. Para dicha evaluación se asignó la calificación (ver tabla 20) según las descripciones comprendidas en el marco metodológico sobre la evaluación de amenaza.

Tabla 20.

Matriz de amenazas

AMENAZA	Frecuencia	Intensidad	Extensión	Calificación
Inundaciones	8	8	9	25
Vendavales	6	7	8	21
Pluviosidad	8	2	8	18
Sequias	7	1	2	10
Erosión del suelo	7	1	6	14
Tecnológicas (cierre de compuertas)	8	8	9	25
Enfermedades	9	9	7	25

Generación de residuos solidos	9	5	7	21
Colmatación	8	6	1	15
Situaciones de orden publico	9	6	1	16

Nota: Metodología adaptada de (UNGRD Y PNUD, 2012).

Con base en los resultados anteriores se llevó a cabo el análisis de las amenazas con el objetivo justificar y comprender las bases que fundamentan la calificación otorgada.

Inundaciones: haciendo énfasis en que esta es la amenaza principal de la cual se centró la investigación, se evidenció que el evento amenazante ocurre más de una vez al año, generando pérdidas económicas en el mejor de los casos y lesiones personales en casos puntuales, este evento cubre la totalidad del área donde se enfoca el estudio y se observa que puede tener mayor alcance. Además, puede denominarse una amenaza concatenada debido a que existen otras amenazas que le dan origen (generación de residuos, cierre de compuertas, colmatación, pluviosidad). Por lo tanto, es catalogada como una amenaza de nivel alto.

Vendavales: el evento amenazante tiene lugar aproximadamente cada dos años o menos, lo cual genera grandes pérdidas a nivel económico y perjuicios a la salud. Debido a la naturaleza del evento este tiene un alcance de toda el área de estudio.

Pluviosidad: Barranquilla es una ciudad que presenta alta temperatura y humedad constante elevada. Sin embargo, los registros de precipitación no se encuentran fuera del rango de los 500 – 1000 mm al año (IDEAM, 2020), lo cual pudo interpretarse como una localización que no presenta constantes lluvias, pero si se evidenció que en los pocos sucesos presentes al año se abre

paso para favorecer los eventos de inundación ya mencionados. Este evento sucede más de una vez al año y no representa daños o pérdidas importantes a la comunidad, pero si favorece a la ocurrencia de otro evento que si los trae. Su alcance cubre la totalidad del área de estudio, por lo que es catalogada como una amenaza de rango alto.

Sequía: las altas temperaturas presentes son las condiciones esperadas para dar origen a esta clase de amenazas, por lo tanto, es común y frecuente que ocurra en las zonas que comprenden los alrededores del canal y la comunidad. Sin embargo, este fenómeno no representa daños a la comunidad y sus bienes ni tampoco cubre gran parte del área de estudio siendo este aproximadamente 50 metros de donde se origina.

Erosión del suelo: de igual manera que la amenaza anterior, la presencia de altas temperaturas juega un papel fundamental en el origen de esta clase de fenómenos, cuyo parámetro meteorológico en combinación con la velocidad de viento favorecen a la erosión del suelo. Este se presenta todos los años en periodo de máximo 4 meses y cubre la totalidad del área de estudio sin perjudicar o representar daño alguno a la comunidad.

Tecnológicas (cierre de compuertas): previamente se hizo mención sobre el origen de amenazas concatenadas, lo que permitió establecer a esta como un complemento que en combinación con otras provocó algunos sucesos de inundación. Como es un suceso relacionado con los eventos de inundación, comparten la misma frecuencia, intensidad y extensión, por lo cual se otorgó una calificación alta como amenaza.

Enfermedades: la presencia de vectores portadores de enfermedades en el entorno que rodea el canal es un tema de discusión del cual se tuvo como respaldo el testimonio de los habitantes del área. Este fue obtenido a través de las encuestas realizadas para conocer la percepción social. Cada año se presenta más de un caso con síntomas de dengue o fiebres en temporadas invernales, ocasionando daños sobre la salud de las personas y exponiendo a toda la comunidad situada a las proximidades del canal.

Generación de residuos sólidos: fue catalogado como parte de las amenazas que en combinación con otra da origen al evento de inundación. La amenaza es reincidente por lo que presenta una frecuencia casi diaria, pero la intensidad no fue muy significativa teniendo en cuenta que los daños y pérdidas son ocasionadas en combinación con los eventos de pluviosidad y cierre de compuertas que dan como origen la inundación.

Colmatación: en relación con la generación de residuos sólidos, la colmatación es producto de la sedimentación de estos residuos, por lo cual tuvo una frecuencia elevada ya que la disposición de estos es muy habitual. Esta amenaza hace parte de aquellas que dan origen a la amenaza concatenada de inundación, debido a que la constante colmatación disminuye de manera visible la capacidad hidráulica del canal, favoreciendo así que los eventos de inundación se presenten de manera más frecuentes.

Situaciones de orden público: los casos de delincuencia son muy frecuentes en la zona de estudio, y amenazan con dañar la integridad física y material de los habitantes cercanos. Esta situación no avanza más allá del punto de origen.

6.3.2. Evaluación de vulnerabilidad

Las amenazas descritas anteriormente permitieron establecer el nivel de vulnerabilidad asociada a los elementos en riesgo presentes en la zona. Cada amenaza mantuvo relación con uno o más elementos, que según los aspectos y circunstancias propias del evento, alteraba los factores de vulnerabilidad mencionados en la metodología (UNGRD Y PNUD, 2012).

Los resultados de la matriz de vulnerabilidad según la interacción amenaza-elemento son descritos de forma que se justifiquen en el análisis elaborado (ver tabla 21).

Tabla 21.

Matriz de vulnerabilidad

AMENAZA	ELEMENTO EN RIESGO	EVALUACION DEL RIESGO				TOTAL V
		VV	VE	VA	VF	
Inundaciones	Canal	8	7	6	9	30
	Viviendas	8	8	2	9	27
	E.D.A.R.	8	6	9	9	32
	Canchas de futbol	4	3	2	4	13
	Calle 120	7	6	3	9	25
	Puente peatonal	9	6	5	8	28
Vendavales	Viviendas	9	7	3	6	25
	Puente peatonal	8	4	3	9	24
Pluviosidad	Canal	7	6	6	6	25
	Viviendas	3	3	1	4	11
	E.D.A.R.	7	4	6	2	19
	Canchas de futbol	3	4	1	6	14
	Calle 120	4	3	6	9	22
	Puente peatonal	3	4	6	7	20
Sequias	Canal	0	4	3	1	8
	Calle 120	0	3	1	1	5
Erosión del suelo	Canal	0	4	0	1	5
	Canchas de futbol	0	4	1	1	6
	Calle 120	0	4	0	1	5
Tecnológicas (cierre de compuertas)	Canal	9	7	8	9	33

	Viviendas	7	7	5	9	28
	E.D.A.R.	4	3	5	6	18
	Canchas de futbol	4	3	2	9	18
	Calle 120	6	6	2	9	23
	Puente peatonal	6	5	4	9	24
Enfermedades	Viviendas	7	4	0	4	15
	Canal	7	4	6	7	24
Generación de residuos solidos	E.D.A.R.	7	4	4	8	23
	Puente peatonal	3	3	6	9	21
Colmatación	Canal	3	3	6	8	20
	E.D.A.R.	3	5	6	6	20
Situaciones de orden publico	Canal	6	4	1	0	11

Nota: Método de calificación adoptado de (Yanes et al., 2016).

Cada amenaza enlista una serie de elementos con los cuales existe afectación y se le atribuyó una calificación según su nivel de vulnerabilidad.

6.3.2.1. Inundación

Canal: el factor que vincula las victimas recibe una calificación alta teniendo en cuenta la presencia de lesiones personales, afectando a la totalidad de los habitantes en la zona cuando los eventos ocurren con intensidad alta. La elevada frecuencia con la que suceden los eventos de inundación ocasiona arrastre de residuos y sedimentos, afectando de manera constante la estructura del canal. Cuando el evento se presenta, la calidad de los servicios públicos se ve reducida al grado de no contar con cobertura de manera temporal, y debido a la situación existen pérdidas económicas en electrodomésticos y bienes materiales. Los daños al medio ambiente se limitan a contaminación del suelo por lixiviación de residuos y alteración del paisaje.

Viviendas: los residentes del área donde se presenta el fenómeno de inundación llegan a sufrir lesiones personales y pérdidas materiales. Muchos de los hogares pierden el acceso de los

servicios públicos como el agua y el aseo. La totalidad de las viviendas se ven deterioradas por la presencia de esta amenaza, pero sus impactos ambientales se limitan a alteración de la superficie terrestre.

E.D.A.R.: se presentan lesiones personales hacia los trabajadores y residentes cercanos de la estación depuradora por el desbordamiento del canal. Las pérdidas económicas van desde equipos de la planta hasta estructuras recreativas situadas en parques cercanos. La inundación dentro de la estación provoca combinación de aguas residuales con el caudal del arroyo, ocasionando contaminación del agua. La estación se encuentra ubicada al contorno del arroyo, por ende, recibe mucho impacto por el fenómeno de inundación.

Cancha de futbol: las canchas no son un sitio de constante permanencia y no se pueden utilizar durante el evento amenazante, razón por la cual el número de víctimas se reduce a menos del 50% de los habitantes en el área de estudio. Así, las pérdidas económicas no son considerables y los daños ambientales se limitan al suelo en menor magnitud. La estructura se ve afectada de manera leve, pero su tendencia a inundar es elevada debido a la cercanía del canal.

Calle 120: gran número de personas se ven afectada por el deterioro de la única vía de acceso a sus hogares, algunos no presentan lesiones, pero sufren pérdidas económicas de consideración. Las casas se ven afectadas por la incapacidad de drenar el agua acumulada, provocando que esta entre a los hogares. Las consecuencias ambientales se limitan a deterioro en la capacidad de filtrar agua por parte del suelo.

Puente peatonal: existe un alto número de personas que hacen uso del puente, pero debido a los eventos de inundación estas personas presentaron complicaciones para desarrollar labores a través del puente. La estructura presenta daños considerables debido a su inevitable cercanía con el arroyo provocando deterioro en el metal que lo conforma. Los daños ambientales presentes radican en daños al paisaje y contaminación del agua por elementos desprendidos por la corrosión.

6.3.2.2.Vendavales

Viviendas: los eventos se presentan aproximadamente cada 2 años, sin embargo, los daños a las personas son significativos, atribuyéndose que su grado de afectación vincula toda la población del área de estudio. Las pérdidas económicas fueron considerables, siendo estas en su mayoría bienes materiales y electrodomésticos. Las afectaciones ambientales no fueron considerables al tratarse de un evento climatológico de bajo impacto ecosistémico. Las viviendas no cuentan con materiales de construcción lo suficientemente resistente para soportar el impacto del evento amenazante sin generarse daños y pérdidas de gran magnitud.

Puente peatonal: el puente se considera una ruta para desarrollar labores según las personas que habitan de manera cercana, pero el estado actual de su estructura causa que sea vulnerable ante esta clase de sucesos. Los materiales debido a su vejez ya no tienen la capacidad de soportar la magnitud de algunas amenazas, trayendo consigo el desprendimiento de algunas partes que lo conforman para después ser arrastradas al interior del canal debido a su cercanía.

6.3.2.3.Pluviosidad

Canal: la pluviosidad es una amenaza abierta a concatenar otra de mayor impacto, el número de víctimas implica a los habitantes establecidos en el área de estudio. Las corrientes generadas al interior del canal debido al evento representan peligro de muerte para cualquier persona que se aproxime a la estructura durante el fenómeno. La población residente se encuentra por debajo de la línea de pobreza, predominando el empleo informal. Los daños al medio ambiente son atribuidos a la acción de arrojar basura al canal cuando el caudal se eleva, esta serie de factores en conjunto deterioran la estructura del canal, causando grietas y reduciendo la capacidad hidráulica de este.

Viviendas: los hogares son aptos para soportar las lluvias fuertes sin presentar víctimas por lesión, a excepción de casos donde los techos no se encuentran acondicionados para el evento. No se ven afectación a los servicios públicos, y no existen impactos ambientales de consideración sobre estas.

E.D.A.R.: la estación cuenta con trabajadores cuya labor se establece cerca del curso de agua, existe riesgo de muerte debido a la cercanía del arroyo, que en combinación con fuertes lluvias genera un caudal capaz de atrapar a una persona y ahogar a esta. La estación no sufre daños por elevadas precipitaciones, sin embargo, retrasa labores según la duración de este. Durante la precipitación se presenta contaminación de aguas, ya que muchas de las piscinas alcanzan su límite antes de completar su proceso de depuración y alcanzan a fluir con el caudal del arroyo. Pero no hay presencia de daños físicos a las instalaciones exceptuando la carga acumulada en las rejillas de la trampa para residuos sólidos.

Cancha de futbol: los habitantes utilizan la lluvia como la oportunidad para hacer uso de las canchas, trayendo consigo lesiones como caídas y golpes leves, en su mayoría estas personas corresponden a la población por debajo línea de la pobreza. Las consecuencias ambientales sobre las canchas se limitan al traslado del suelo, causando daños físicos de consideración sobre estas.

Calle 120: las víctimas se limitan al número de habitantes que se encuentren en la calle durante el evento, y presentan en ocasiones irritaciones por el contacto de agua residual, producto del desbordamiento de alcantarillas cuando la precipitación es intensa. Debido a la falta de pavimentación las pérdidas económicas no son de consideración, pero las afectaciones ambientales se le otorgan contaminación por aguas residuales. Como la calle no cuenta con un sistema de evacuación de aguas lluvias esta se almacena impidiendo la circulación temporal.

Puente peatonal: existe riesgo de lesiones leves debido a la anti-adherencia de la superficie del puente. Los materiales con el tiempo han sufrido daños por la corrosión, incrementando su deterioro con el paso del tiempo, lo cual afecta el traslado de las personas que hacen uso de este para conseguir ingreso económico. Los daños ambientales se otorgan al depósito de residuos sólidos que caen al interior del canal.

6.3.2.4. Sequías

Canal: la amenaza no implica daños o lesiones personales hacia las personas que hacen parte del área de estudio, por lo cual se descarta este factor de vulnerabilidad durante la evaluación. Las afectaciones ambientales son fugaces con capacidad de reversibilidad alta, el impacto más

significativo es la remoción de la capa vegetal alrededor del arroyo, pero esta vuelve a crecer con el mínimo aporte de agua. La estructura del canal no se ve afectada por la presencia del evento.

Calle 120: no existe la presencia de víctimas debido a la amenaza, lo cual hace que este factor de vulnerabilidad no se tome en consideración. La calle no sufre daños económicos debido a la falta de pavimentación. Y sus afectaciones ambientales y daños físicos no representan una amenaza para destacar.

6.3.2.5.Erosión del suelo

Canal: la amenaza no implica daños o lesiones personales hacia las personas que hacen parte del área de estudio, por lo cual se descarta este factor de vulnerabilidad durante la evaluación. A nivel económico, la erosión del suelo desplaza el material dentro del canal, causando la disminución de la capacidad hidráulica de este, lo cual aumenta la inversión de mantenimiento periódico. Las afectaciones ambientales no son significativas por lo cual son descartadas.

Canchas de futbol: la amenaza no implica daños o lesiones personales hacia las personas que hacen parte del área de estudio, por lo cual se descarta este factor de vulnerabilidad durante la evaluación. A nivel económico, la erosión del suelo exige el constante transporte de relleno para reemplazar el material desplazado por acción hídrica y eólica. Las afectaciones ambientales no son significativas por lo cual son descartadas.

Calle 120: la amenaza no implica daños o lesiones personales hacia las personas que hacen parte del área de estudio, por lo cual se descarta este factor de vulnerabilidad durante la evaluación. La calle no cuenta con revestimiento, lo cual deja expuesto el suelo para degradarse

a causa de la erosión hídricas y eólicas, pero las pérdidas económicas radican en la interacción de las casas y aquellas partículas finas que ingresan afectando electrodomésticos que se encuentren al interior de estas.

6.3.2.6.Tecnológicas (cierre de compuertas)

Canal: la amenaza se analiza como complemento de lo que se conoce como amenaza concatenada, provocando así inundaciones a causa del impedimento de flujo en el agua que transporta el canal, trayendo así lesiones de consideración para las personas que residen cerca del área. Este tipo de eventos provoca fallas en los servicios públicos con duración de 24 horas, y pérdidas económicas por la acumulación de residuos dentro del canal. La acumulación de estos conlleva al deterioro del paisaje, y proliferación de vectores portadores de enfermedades. La estructura del canal se ve afectada significativamente ya que sufre pérdida en su capacidad hidráulica.

Viviendas: en conjunto con la pluviosidad, el cierre de compuertas provoca desbordamientos que afectan a la totalidad de las viviendas y sus habitantes que pertenecen al área de estudio. Esta situación provoca pérdidas en electrodomésticos y pérdida temporal de servicios públicos. Los impactos ambientales son recuperables a mediano plazo, pero las casas sufren precipitación del suelo por la humedad acumulada durante los años que causan grietas y rupturas de las paredes.

E.D.A.R.: la razón otorgada para la acción de cerrar las compuertas se atribuye al hecho de no afectar las operaciones de la planta que ocasiona el paso de residuos sólidos en el caudal del canal. Afectando así de manera notoria a los habitantes aledaños. Las afectaciones ambientales

se limitan a la alteración del paisaje por exceso de residuos sólidos, que a su vez afecte la resistencia de las rejillas que detienen estos.

Cancha de futbol: la amenaza se analiza como complemento de lo que se conoce como amenaza concatenada, provocando así inundaciones a causa del impedimento de flujo en el agua que transporta el canal. Las canchas de futbol se encuentran ubicadas cerca del canal, lo cual las vuelve vulnerables ante la inundación, y trae bajo número de víctimas con posibles lesiones leves. Los impactos ambientales no son de relevancia y se limitan a presencia de residuos sólidos. Estas se ven deterioradas a tal punto de no ser aptas para desarrollar actividades a mediano plazo.

Calle 120: la inundación provocada por la combinación de la pluviosidad y cierre de compuertas tiene alcance suficiente para obstruir y deteriorar las vías de acceso, además de afectar las casas ubicadas en la zona, trayendo lesiones moderadas sobre las personas. Esta situación afecta la correcta prestación de servicios públicos como la recolección de residuos, ocasionando acumulación estos que con el tiempo son depositados en espacios abiertos alterando el paisaje y contaminando el suelo.

Puente peatonal: debido a los factores mencionados sobre la concatenación de algunas amenazas, el puente presenta alta vulnerabilidad por su ubicación con respecto al canal, siendo el primer expuesto ante los eventos de inundación provocados. Esta situación deteriora su estructura trayendo corrosión que implica no poder resistir en algún momento los sucesos. Las partes que son desprendidas siempre llegan a depositarse al interior del canal, donde se acumulan afectando la capacidad hidráulica de este. El puente representa una vía de acceso para personas

que realizan labor informal y con la obstrucción de este genera pérdidas económicas para las personas que hacen uso diario.

6.3.2.7. Enfermedades

Viviendas: las características de esta amenaza causan que el único elemento en riesgo sean las viviendas por su relación con las víctimas, cuya extensión tiene alcance de toda el área de estudio. Estas reportan casos de dengue durante el periodo de invierno el cual se puede atribuir a la proliferación de mosquitos en la sección sin revestir del canal. Debido a que esta es una población establecida debajo de la línea de pobreza, los reportes de amenaza se vuelven más frecuentes y representan mayor amenaza. Esta situación afecta principalmente la zona de estudio debido a su cercanía con el canal.

6.3.2.8. Generación de residuos sólidos

Canal: la inundación se presenta como amenaza concatenada debido a otras amenazas como esta, que junto a el cierre de compuertas y la pluviosidad forman el escenario perfecto para que suceda el evento de inundación. La acumulación de residuos en el canal trae consecuencia sobre los habitantes, ya que, si se presenta un evento de inundación el número de víctimas por generación de residuos sólidos será equivalente al determinado para esta. La situación planteada trae consigo afectaciones sobre el entorno que rodea el arroyo, deteriorando las condiciones ambientales del suelo, agua y paisaje. Y debido a la cercanía de las viviendas al canal, estas reciben gran impacto físico cuando se combinan los eventos mencionados inicialmente, trayendo pérdidas económicas en electrodomésticos y ausencia de algunos servicios públicos como recolección de basuras.

E.D.A.R.: la concatenación de amenazas trae consecuencias relevantes sobre la estación, ya que la acumulación de residuos afecta sus procesos y amenaza con provocar acceso a las piscinas de oxidación que llevan a cabo el proceso de purificación. Esta situación trae gastos económicos por la limpieza y reemplazo de las rejillas que impiden el paso de residuos sólidos, siendo expuestos los trabajadores como las principales víctimas. Las afectaciones ambientales van dirigidas a los elementos suelo, agua y paisaje. Y el impacto sobre la estructura de este se incrementa debido a la proximidad con el canal, que es donde se produce la situación planteada.

Puente peatonal: la generación de residuos sólidos afecta de manera indirecta la estructura del puente debido a la concatenación que produce la inundación, el cual compromete de manera directa a este. Las víctimas se limitan a los individuos que hacen uso permanente de este para ejercer labores, trayendo sobre ellos lesiones leves en el peor de los casos. Dentro de los daños ambientales se comprende el aporte de residuos dentro del canal por las partes que se desprenden de este debido al deterioro.

6.3.2.9.Colmatación

Canal: este evento es subproducto del arrastre de sedimentos debido a la pluviosidad y la acumulación de residuos sólidos en el interior de este. Las afectaciones a las víctimas son mínimas, limitándose a lesiones leves en el peor de los casos. Pero con serias consecuencias económicas atribuidas a la disminución de la capacidad hidráulica del canal, también por el constante trabajo de mantenimiento para la limpieza de este.

E.D.A.R.: la colmatación es producto de la acumulación de residuos en la superficie del canal, trayendo consigo disminución de la capacidad hidráulica. Esta situación provoca constantes desbordamientos que afectan de manera directa la estación depuradora debido a su proximidad con el canal, afectando los procesos desarrollados; y obligando a realizar inversiones económicas para dar continuidad a los procesos sin verse alterados. Los trabajadores de la estación son las principales víctimas con leves lesiones personales en el peor de los casos.

6.3.2.10. Situaciones de orden publico

Canal: los alrededores del canal son escenarios que se prestan para actos de violencia y crimen a mano armada, causando lesiones de consideración en el peor de los casos. Estos actos son comunes en la zona de estudio debido a que la población se encuentre debajo de la línea de la pobreza. Esta situación también se presta para el deterioro ambiental debido a la acción de arrojar basura llevada a cabo por estos individuos.

6.3.3. Resultados evaluación de riesgo

El análisis presentado anteriormente permitió determinar los factores de riesgo que comprenden el nivel asociado de riesgo, siendo establecido a través del método planteado para evaluar este (ver figura 10). Para los resultados obtenidos se relacionaron métodos cuantitativo y clasificación por métodos cualitativos (ver tabla 22), permitiendo destacar los riesgos de mayor significatividad dentro del rango de clasificación alto.

Tabla 22.

Matriz de riesgos asociados

AMENAZA	CALIFICACION	ELEMENTO EN RIESGO	TOTAL V	RIESGO ASOCIADO
Inundaciones	25	Canal	30	750
		Viviendas	27	675
		E.D.A.R	32	800
		Canchas De Futbol	13	325
		Calle 120	25	625
		Puente Peatonal	28	700
Vendavales	22	Viviendas	25	525
		Puente Peatonal	24	504
Pluviosidad	18	Canal	25	450
		Viviendas	11	198
		E.D.A.R	19	342
		Canchas De Futbol	14	252
		Calle 120	22	396
		Puente Peatonal	20	360
Sequias	10	Canal	8	80
		Calle 120	5	50
Erosión del suelo	14	Canal	5	70
		Canchas De Futbol	6	84
		Calle 120	5	70
Tecnológicas (cierre de compuertas)	25	Canal	33	825
		Viviendas	28	700
		E.D.A.R	18	450
		Canchas De Futbol	18	450
		Calle 120	23	575
		Puente Peatonal	24	600
Enfermedades	25	Viviendas	15	375
Generación de residuos solidos	21	Canal	24	504
		E.D.A.R	23	483
		Puente Peatonal	21	441
Colmatación	15	Canal	20	300
		E.D.A.R	20	300
Situaciones de orden publico	16	Canal	11	176

Nota: Método de estimación adaptado de (UNGRD Y PNUD, 2012)

De acuerdo con los resultados anteriores, se observaron que tipos de amenazas y elementos en riesgo presentan mayor nivel de riesgo asociado, siendo estos principalmente amenazas de origen hidrometeorológico, seguidas por amenazas de origen tecnológico. La matriz identifica un gran número de elementos en el rango de riesgo alto, sin embargo, se logra destacar aquellas cuyo valor numérico es considerablemente superior a los demás valorados en rango de riesgo alto. Para determinar los niveles de riesgo que precisan reacción inmediata, se estableció un rango donde todo aquel resultado que su valor numérico sea superior a 600 es considerado como riesgo destacable entre aquellos de valoración alta, y se entiende que son aquellos cuya presencia causa mayor alteración sobre el área de estudio.

Los riesgos asociados catalogados como destacables entre los de rango alto fueron aquellos que presentaron mayor vulnerabilidad a sufrir daños por inundación, atribuyéndose algunos casos puntuales de amenazas tecnológicas que, a través de la concatenación de amenazas, dieron origen a eventos de inundación.

Existen otros riesgos de rango alto que limitan con el nivel medio, pero son casos donde se ven más afectados los aspectos económicos, excluyendo casos puntuales como los riesgos de contraer enfermedades como el dengue, donde las condiciones expuestas sobre la infraestructura interna del canal y sus alrededores se convierten en un potencial incubador de transmisores de enfermedad.

La clasificación correspondiente al rango alto trae como significado que las amenazas evaluadas presentan un alto grado de afectación sobre los elementos en riesgo, permitiendo interpretar que la comunidad del barrio *El Pueblito* sufre una potencial exposición ante fenómenos de inundación como se logra evidenciar con base en los resultados.

La metodología desarrollada en la clasificación de resultados brinda a través del modelo de colores, una fácil identificación de aquellos riesgos de rango alto. Es importante resaltar la importancia de clasificar según la escala de colores ya que así se optimiza el proceso para analizar la información desarrollada. Mucha de la información que dio bases para la evaluación de estos aspectos se sostuvo a partir de testimonios locales y evidencia in situ, la cual resalta la potencialidad del riesgo de inundación y reafirma el porqué de su clasificación a la hora de evaluar.

7. Conclusiones

Durante la investigación desarrollada, se llevaron a cabo cálculos de diseño para evidenciar la capacidad aproximada a la que está capacitado el canal, junto con las características de la cuenca, la percepción social que tienen las personas que han vivido los eventos de inundación; y las amenazas y riesgos presentes en el área de estudio, permitiendo así establecer con base en los resultados las siguientes afirmaciones.

Teniendo en cuenta que el promedio anual de precipitación en la zona metropolitana del departamento Atlántico se ubica entre 500 mm y 1000mm (IDEAM, 2020), es oportuno considerar que este presenta caudales superiores a 1000 m³ por evento de precipitación, según la ruta que lleve a cabo el drenaje. Las condiciones morfológicas a las que corresponde la cuenca del Arroyo León (ovaloblonga – rectangularoblonga) presentan tendencia a inundarse, por lo cual debe presentarse constante trabajo de adecuación en el recorrido de los drenajes pluviales. En síntesis, el tiempo que tarda la cuenca en drenar agua no permite que haya alteraciones en los canales por donde esta circula, ya que se vería en un desbordamiento inevitable por la acumulación de agua, razón que se debe a la acumulación de residuos sólidos que impiden la circulación de esta, y también al cierre no avisado de las compuertas en la E.D.A.R.

La comunidad encuestada demostró haber tenido experiencia detallada de las consecuencias y regularidad con la que los eventos de inundación los afectan. En su mayoría, las personas ahí presentes tienen un periodo superior a 30 años viviendo al contorno del arroyo, lo cual los ha convertido en los principales afectados por estos eventos. Se ha demostrado la capacidad de anticipar cuando estos eventos están por ocurrir, lo cual lo manifiestan muchos participantes de la encuesta, justificando que es producto de la experiencia ante constantes sucesos. La comunidad reconoce que la cultura ciudadana juega un papel fundamental en la periodicidad con la que se presentan los eventos de inundación, debido a la generación y disposición de residuos sólidos, que han traído muchas consecuencias a nivel social y ambiental, alterando así el entorno

que rodea el canal, esto según ellos se ha procedido a controlar, trayendo beneficios durante la temporada invernal.

El análisis de riesgos presentes en el área de estudio dejó en evidencia la vulnerabilidad que los habitantes presentan en cuanto al aspecto económico. Entre las amenazas catalogadas en rango alto se destacaron aquellas que representaban mayor significatividad para la comunidad, siendo estas las de origen hidrometeorológico y tecnológico. Las amenazas que permitieron la concatenación hicieron también parte de aquellas destacables por la formación de condiciones ideales para presentar eventos de inundación. Hubo casos a resaltar como la transmisión de enfermedades originadas por la proliferación de vectores como mosquitos portadores de dengue.

El aspecto ambiental evaluado durante la investigación permitió destacar que la mayor afectación presente en la zona de estudio es la alteración del entorno debido a la mala disposición de residuos sólidos, siendo la contaminación del agua la segunda afectación sobre el ecosistema suburbano. Estos impactos evidenciados demuestran que el problema es principalmente atribuible a la cultura ciudadana de los habitantes aledaños, y puede presentar una mejora considerable si se toma en consideración las consecuencias del estilo de vida llevado actualmente por estos. Cuanto más crece una sociedad mayor serán los impactos ocasionados sobre el ambiente, la demanda por recursos será mayor y los residuos generados aumentarán simultáneamente. Las ciudades modernas establecen un modelo orientado al camino de la sostenibilidad, buscando reducir las consecuencias originadas por las actividades de desarrollo socioeconómico que avanzan de manera inevitable.

La investigación desarrollada tiene un alto impacto sobre el modelo de desarrollo establecido para la ciudad de Barranquilla, buscando promover el desarrollo sostenible y bienestar de las comunidades que conforman a esta. El proceso de investigación llevado a cabo tiene como finalidad impulsar estrategias que promuevan el bienestar y gestionen el riesgo al que se encuentra expuesta la sociedad. La percepción social evaluada ratifica la necesidad que tiene una comunidad que durante años ha sobrellevado la exposición ante constantes eventos amenazantes, sirviendo como punto de referencia para comunidades que viven en condiciones similares por una mala gestión del riesgo.

8. Recomendaciones

Los riesgos hidrometeorológicos se presentan comúnmente como un evento imprevisible, sin embargo, y tomando como referencia los resultados de la presente investigación, se evidenció que existen condiciones donde las víctimas desarrollan la capacidad de anticipar cuando esta por ocurrir el evento, esta habilidad se le atribuye el factor de la frecuencia y la concatenación surgida de otras amenazas de carácter tecnológico. Realizando énfasis en la problemática sobre inundaciones, se llevó a cabo una serie de recomendaciones que buscan plantear una solución puntual para los eventos presentados.

Inicialmente se sugiere realizar de manera periódica limpieza en el interior del canal en su área revestida, removiendo maleza y acumulación de sedimentos que disminuyen la capacidad hidráulica de este. El trabajo de limpieza debe llevarse hasta la zona que se encuentra sin revestimiento ya que esta permite acumular muchos residuos y promueve el crecimiento de plantas que impiden el flujo de agua.

Se recomienda promover las buenas prácticas ambientales enfocadas al manejo de residuos ya que es una de las principales causas de desbordamiento en el canal. Esta propuesta puede ser impulsada a través de campañas de sensibilización donde se manifiesten las consecuencias de seguir llevando estas malas prácticas, y hará mención del compromiso institucional por parte de los entes reguladores de obras públicas en la ciudad de Barranquilla para culminar la obra dejada en estado inconcluso, destacando la necesidad de llevar a cabo periódicamente, si se tiene en cuenta los históricos de colmatación, labores de mantenimiento al interior del canal.

También se recomienda solicitar detalles y responsabilidad con la obra a la alcaldía y partes interesadas (Triple A, Oficina de gestión del riesgo Barranquilla, prestadores de servicios públicos, etc.).

9. Referencias

- Abrari, E., Ergil, M., & Karim, M. (2019). Flow measurement using free over-fall in generalized trapezoidal channels based on one velocity point method. *Flow Measurement and Instrumentation*, 69(August), 101615. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101615>
- ACS-AEC. (2017). *Miembros y Miembros Asociados / ACS-AEC*. <http://www.acs-aec.org/index.php?q=content/members-and-associate-members>
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Aparicio, J. (1992). Fundamentos De Hidrología De Superficie. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- B. L. Turner II, Roger E. Kasperson, Pamela A. Matson, J. J. M., Corell, R. W., Lindsey Christensen, Noelle Eckley, Jeanne X. Kasperson, Amy Luers, M. L. M., & Colin Polsky, Alexander Pulsipher, and A. S. (2003). Complicated structure modeling in front-zone of Hala' alate Mountain of northwestern margin, Junggar Basin. *Natural Gas Geoscience*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073 / pnas.1231335100>
- Barranquilla, A. de. (2017). *Plan De Gestión Del Riesgo De Desastres Del Distrito Especial* ,

Industrial Y Portuario De Barranquilla Deip.

Barrantes Echavarría, R. (2002). *La investigación: un camino al conocimiento* (p. 12).

https://www.uned.ac.cr/academica/images/ceced/docs/Investigacion_camino_conocimiento.pdf

Barsanti, M., Calda, N., & Valloni, R. (2011). The Italian Coasts: A Natural Laboratory for the Quality Evaluation of Beach Replenishments. *Journal of Coastal Research*, 61(10061), 1–7.
<https://doi.org/10.2112/si61-001.1>

base de datos Desinventar. (2011). *Registro histórico por tipo eventos para el periodo 1914 a 2011ps*. <https://www.desinventar.org/es/database>

Besaw, L. E., Rizzo, D. M., Kline, M., Underwood, K. L., Doris, J. J., Morrissey, L. A., & Pelletier, K. (2009). Stream classification using hierarchical artificial neural networks: A fluvial hazard management tool. *Journal of Hydrology*, 373(1–2), 34–43.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.007>

Bolaños-Valencia, I., Villegas-Palacio, C., López-Gómez, C. P., Berrouet, L., & Ruiz, A. (2019). Social perception of risk in socio-ecological systems. A qualitative and quantitative analysis. *Ecosystem Services*, 38(65), 100942. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100942>

Bonvecchi, V., & Zuleta, G. (2014). *Sensibilidad ambiental de los cursos de agua y sus áreas de*

amortiguación. El caso del Partido de Luján (p. Comunidad e información ambiental del riesgo. Las).

Cajal, A. (2017, September 14). *¿Qué es la Perspectiva Personal?* . Perspectiva Individual.

<https://www.lifeder.com/perspectiva-personal-si-mismo/>

Chanson, H. (2002). *Hidraulica del flujo en canales abiertos* (1ra ed.). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.

Chen, W. Y., & Hua, J. (2017). Heterogeneity in resident perceptions of a bio-cultural heritage in Hong Kong: A latent class factor analysis. *Ecosystem Services*, 24, 170–179.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.019>

Chow, ven te. (1994a). *Hidraulica de canales abiertos (Ven Te Chow).pdf* (pp. 1–337).

Chow, ven te. (1994b). *Hidrologia Aplicada* (M. Suarez (ed.); Escuela co).

Ley 1523, (2012). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

Crona, B. I., Rönnbäck, P., Jiddawi, N., Ochiewo, J., Maghimbi, S., & Bandeira, S. (2009).

Murky water: Analyzing risk perception and stakeholder vulnerability related to sewage impacts in mangroves of East Africa. *Global Environmental Change*, 19(2), 227–239.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.001>

Danelly Salas Ocampo. (2019, June 4). *El enfoque mixto de investigación: algunas*

características - Investigalia. <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-mixto-de-investigacion/>

Daza, H. (2010). sociedad moderna. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales.*, 16, 61–83. <https://catedratesv.files.wordpress.com/2014/06/daza-la-sociedad-moderna.pdf>

El Heraldo. (2018). *Alcaldía siembra 793 árboles en sector del arroyo León*.
<https://www.elheraldo.co/barranquilla/alcaldia-siembra-793-arboles-en-sector-del-arroyo-leon-564028>

Estrada, G. G. (2010). *hidraulica de canales abiertos* (Dirección).
<http://ebooks.uach.mx/id/eprint/20>

French, R. H. (1988). *Hidraulica de canales abiertos* (LIBROS McG).
<http://ebookcentral.proquest.com>

Heritage, G. L., Large, A. R. G., Moon, B. P., & Jewitt, G. (2004). Channel hydraulics and geomorphic effects of an extreme flood event on the Sabie River, South Africa. *Catena*, 58(2), 151–181. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.03.004>

IDEAM. (2004). *Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia*.

IDEAM. (2020, August 11). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*.

<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

ISA. (2007). Política Ambiental. *Política Ambiental, Grupo Empresarial Isa*, 4.

[http://www1.isa.com.co/irj/go/km/docs/documents/ContenidoInternetISA/ISA/NuestraCompania/PolíticasEmpresariales/PoliticaAmbiental/documentos/Política Ambiental \(21 KB\).pdf](http://www1.isa.com.co/irj/go/km/docs/documents/ContenidoInternetISA/ISA/NuestraCompania/PolíticasEmpresariales/PoliticaAmbiental/documentos/Política Ambiental (21 KB).pdf)

Jimenez, serch. (2015, October 19). *¿Qué régimen tengo en un canal o río : Subcrítico, Crítico o*

Supercrítico.? ¿Qué Régimen Tengo En Un Canal o Río : Subcrítico, Crítico o

Supercrítico.? <https://www.hidraulicafacil.com/2015/10/que-regimen-tengo-en-un-canal-o-rio.html>

Jose, L., & Barrios, B. (2019). *ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ARROYO LEON EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CIENAGA DE MALLORQUIN*.

Kibet, P., Kumar, L., Koech, R., & Kumer, M. (2020). Journal of African Earth Sciences

Characterisation of channel morphological pattern changes and flood corridor dynamics of the tropical Tana River fluvial systems , Kenya. *Journal of African Earth Sciences*, 163(December 2019), 103748. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103748>

Márquez carlos iván, H. nelson. (2010). *Plan departamental de la gestion del riesgo*

(ATLANTICO).

Martínez, B. (2016). La Percepción de Riesgo por Peligros Hidrometeorológicos Extremos en Cuba: Mirada desde el Entorno Geográfico. *Trayectorias*, 18(43), 53–72.

McCluney, K. E., Poff, N. L., Palmer, M. A., Thorp, J. H., Poole, G. C., Williams, B. S., Williams, M. R., & Baron, J. S. (2014). Riverine macrosystems ecology: Sensitivity, resistance, and resilience of whole river basins with human alterations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(1), 48–58. <https://doi.org/10.1890/120367>

Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrologia en la Ingeniería. In *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería*.

Montero, O. P., & Batista, C. M. (2019). Social perception of coastal risk in the face of hurricanes in the southeastern region of Cuba. *Ocean and Coastal Management*, 184(October 2019), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105010>

Nicole Williams, C. M. (2000). *Encuesta Sobre Las Fortalezas, Debilidades Y Proyectos De Gestion De Desastres En Los Paises De La Aec*. 66. http://www.acs-aec.org/sites/default/files/NDProjectsEval_Williams_sp.pdf

Ordóñez, J. (2011). ¿ Qué Es Cuenca Hidrológica ? *Sociedad Geológica de Lima*, 1, 1–44. <http://www.gwp.org/Global/GWP->

SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf

Padilla, J., Rojas, D., & Saénz, R. (2012). Dengue en colombia. In C. Hernandez (Ed.),

Epidemiologia de la reemergencia a la hiperendemia. (Los Autore, Vol. 1).

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INV/Dengue en Colombia.pdf>

Poulsen, J. B., Hansen, F., Ovesen, N. B., Larsen, S. E., & Kronvang, B. (2014). Linking floodplain hydraulics and sedimentation patterns along a restored river channel: River Odense, Denmark. *Ecological Engineering*, 66, 120–128.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.05.010>

Quintero, J. Q., Rodolfo, J., & Quintero, Q. (2008). *POT del departamento del atlantico estado del arte*.

Rangel-Buitrago, N., Neal, W. J., & de Jonge, V. N. (2020). Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean and Coastal Management*, 186(October 2019), 105099.

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>

Rezende, O. M., Ribeiro da Cruz de Franco, A. B., Beleño de Oliveira, A. K., Miranda, F. M., Pitzer Jacob, A. C., Martins de Sousa, M., & Miguez, M. G. (2020). Mapping the flood risk to Socioeconomic Recovery Capacity through a multicriteria index. *Journal of Cleaner Production*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120251>

Rodríguez Ruiz, P. (2008). Hidráulica II. In *Hidráulica de Canles* (Vol. 33).

<https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>

Sedano Cruz, K., Carvajal Escoar, Y., & Ávila Díaz, A. (2013). ANÁLISIS DE ASPECTOS QUE INCREMENTAN EL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA. *Luna Azul*, 37, 219–218.

UNGRD Y PNUD, (2012).

Universidad del Magdalena. (2010). *ADECUACION Y ESTABILIZACION DE LA SECCION HIDRAULICA DEL ARROYO LEON PARA EVITAR INUNDACIONES*.

https://drive.google.com/file/d/1vLZqDWC9C6G_RImRazGOix_DGJk1FXd3/view

Upegui, J. J. V., & Gutiérrez, A. B. (2011). Estimation of the time of concentration and the lag time at san Luis creek basin, Manizales. *DYNA (Colombia)*, 78(165), 58–71.

Urrutia, M., & Namen, O. M. (2012). Historia del crédito hipotecario en Colombia. *Ensayos Sobre Política Económica*, 29(67), 280–306. <https://doi.org/10.32468/espe.6709>

Villegas, P. (2014, August 18). *Tiempo de concentración de la cuenca*. Métodos Para Calcular Tc. <https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/>

Waghwal, R. K., & Agnihotri, P. G. (2019). Flood risk assessment and resilience strategies for

flood risk management: A case study of Surat City. *International Journal of Disaster Risk*

Reduction, 40(April), 101155. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101155>

Wang, M., Zhang, M., Shi, H., Huang, X., & Liu, Y. (2019). Uncertainty analysis of a pollutant-hydrograph model in assessing inflow and infiltration of sanitary sewer systems. *Journal of Hydrology*, 574(April), 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.011>

Weil, K. K., Cronan, C. S., Lilieholm, R. J., Danielson, T. J., & Tsomides, L. (2019). A statistical analysis of watershed spatial characteristics that affect stream responses to urbanization in Maine, USA. *Applied Geography*, 105(July 2018), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.004>

Yanes, A., Botero, C., Arrizabalaga, M., Guerra, L., & Guerra, D. (2016). EVALUACION DEL RIESGO ECOLÓGICO Y AMBIENTAL EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. In *Ficha tecnica*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Yanes, A., Botero, C. M., Arrizabalaga, M., & Vásquez, J. G. (2019). Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. *Ecological Engineering*, 130(February 2018), 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.010>

Zawiejska, J., & Radecki-pawlik, A. (2016). *Geomorphology Impact of channel incision on the hydraulics of flood flows : Examples from Polish Carpathian rivers*. 272, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.017>

Anexos

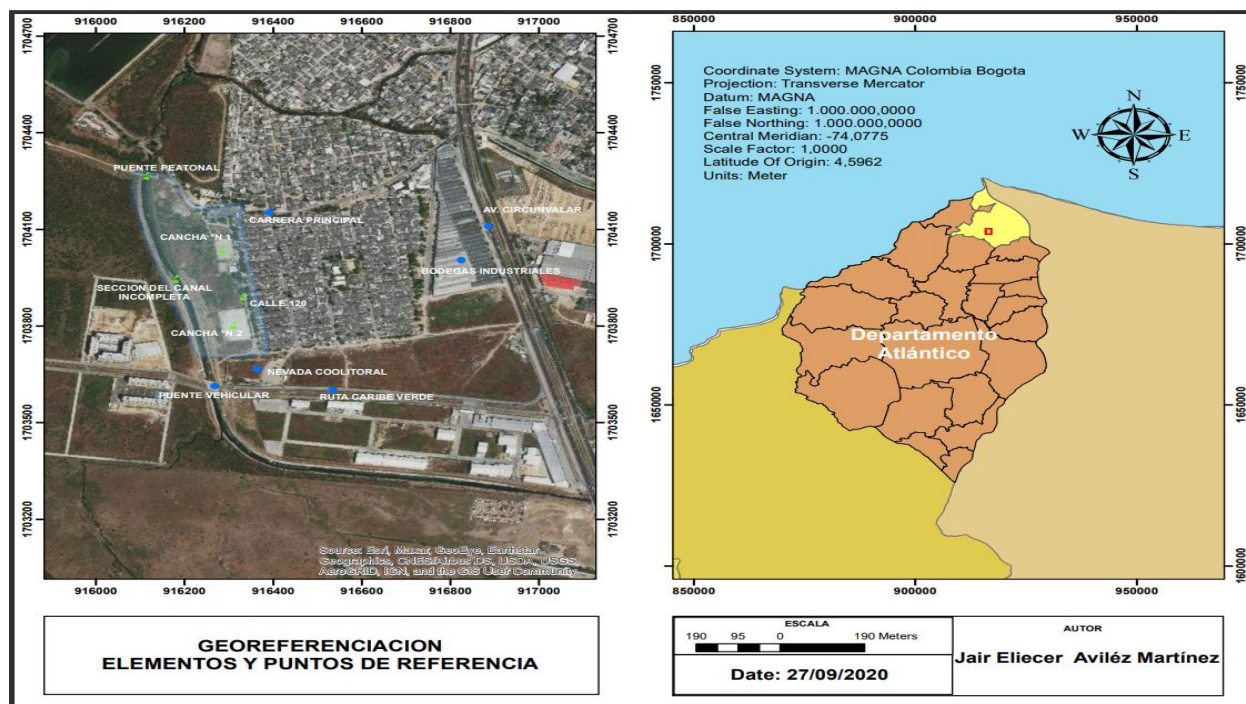


Figura 14. Georreferenciación de elementos en riesgo y puntos de referencia. Fuente: autor propia del autor

Tabla 23.

Coordenadas de georreferenciación para el área de influencia por inundación

Nombre	Capa de georeferencia	Coordenadas X	Coodenadas Y
1	zona de influencia.kmz	-74,84385	10,957969
2	zona de influencia.kmz	-74,845228	10,961458
3	zona de influencia.kmz	-74,84517	10,963443
4	zona de influencia.kmz	-74,844671	10,963393
5	zona de influencia.kmz	-74,844411	10,963161
6	zona de influencia.kmz	-74,843974	10,962365
7	zona de influencia.kmz	-74,843026	10,962427
8	zona de influencia.kmz	-74,842369	10,958166

Nota: Valores determinados de acuerdo con el sistema de coordenadas adoptado “Magna Colombia Bogotá”.

Tabla 24.

Formato de encuestas diseñado para evaluar la percepción social

DATOS DEL ENCUESTADO										
Sexo	M	F	Edad:			Fecha de realización:				
Nivel de Educación	Primaria	Bachillerato	Tecnólogo y Técnico			Universitario			Posgrado	Otro
Estrato Socioeconómico			1	2	3	4	5	6		
Dirección de la vivienda					Tiempo de residencia					
Número de Habitantes de la casa										
Servicios públicos										
Energía	Si		No		Observación					
Gas	Si		No		Observación					
Aseo	Si		No		Observación					
Agua	Si		No		Observación					
Alcantarillado	Si		No		Observación					
Percepción social						SI	NO			
¿Considera perjudicial para la comunidad que el canal se encuentre incompleto?										
¿Tiene conocimiento de donde proviene el agua que transporta el canal?										
¿Siente que la obra sin terminar representa una amenaza para usted en época de invierno?										
¿Considera que la acción de arrojar basura por parte de la comunidad está involucrada con los sucesos de desbordamiento?										
¿Usted logra percibir cuando el canal está a punto de desbordarse?										
¿Considera que existe relación entre la llegada de la época invernal y el incremento en el arrojo de basuras al canal?										
¿Piensa usted que la zona sin terminar de la obra es un potencial generador de vectores (mosca, ratas, mosquitos, etc.)?										
¿Siente que de alguna manera los establecimientos comerciales se ven afectados de manera negativa con el desbordamiento del canal?										
¿Existe interés por parte de otros entes públicos (alcaldía, gobernación, ministerio, entes ambientales)?										
¿La junta de acción comunal toma responsabilidad del asunto en busca de reducir los desbordes?										
¿Considera que una propuesta para completar la obra afectaría positivamente la situación del área en época de invierno?										
Observaciones (características de la vivienda)										

Firma del encuestador: _____

Firma del entrevistado: _____

Nota: El formato recopila información estadística para impulsar el análisis de vulnerabilidad basado en las condiciones de vida.



Figura 15. Canal post-desbordamiento. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 16. Inundación de las viviendas próximas al canal. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 17. Inundación de las vías de acceso. Fuente: propia del autor 12/10/2018.



Figura 18. Estado post-desvordamiento. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 19. Viviendas y rutas de acceso inundadas. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 20. Canchas y centros de recreación afectadas por la inundación. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 21. Ecosistema terrestre involucrado por la inundación. *Fuente:* propia del autor 12/10/2018.



Figura 22. Colmatación presente en el interior del canal. Fuente: propia del autor 20/10/2018.



Figura 23. Tramo inconcluso de la obra del canal. *Fuente:* propia del autor 20/10/2018.



Figura 24. Disposición inadecuada de residuos al interior del canal. *Fuente:* propia del autor 20/10/2018.